المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج



تخصص التقنية المدنية

خواص واختبارات المواد

١٥٣ مدن

طبعة ١٤٢٩ هـ

مقدمة

الحمد للّه وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي: لتصل بعون اللّه تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " **خواص واختبارات المواد** " لمتدربي تخصص " **التقنية المدنية**" في الكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من اللّه عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

واللّه نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه؛ إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تمهيد

لقد شهد النشاط العمراني طفرة معمارية هائلة بدأت في منتصف القرن العشرين في غياب عدة قواعد منها :

- عدم المعرفة بالمواد وعلومها (مثل الإسمنت والخرسانة...).
- غياب بعض القواعد والمقاييس الإنشائية.
- عدم توفر المواصفات التي تأخذ بعين الاعتبار متطلبات المحيط المعماري.
- سوء استغلال المباني والمنشآت وقلة صيانتها.

وعلى هذا الأساس فإن هذه الحقيبة تتمحور حول خواص واختبارات المواد في تخصصي الهندسة المدنية والمعمارية، وسوف تركز على خواص المواد وسلوكياتها واستعمالاتها، وكذلك إكساب المتدرب البعد الحسي للوقاية من المشاكل التي يمكن أن تؤثر على خواص المواد واستمراريتها.

وعند إتمام دراسة المتدرب لهذه الحقيبة بإذن الله فإنه بإذن الله يخلص إلى معرفة خواص مواد البناء بالإضافة إلى إتقان طرق اختبارات هذه المواد بإذن الله وذلك من خلال الدراسة النظرية والتطبيقية (تجارب واختبارات معملية) وبالتالي يكون المتدرب قادراً على استلام عينات المواد بالموقع وإجراء الاختبارات المطلوبة عليها ومطابقتها بالمواصفات المعتمدة وإعداد تقارير بذلك.

وتتألف هذه الحقيبة من الوحدات التالية:

الوحدة الأولى : أحجار البناء والركام.

الوحدة الثانية : الإسمنت.

الوحدة الثالثة : ماء الخلط والمواد المضافة.

الوحدة الرابعة : الخرسانة.

الوحدة الخامسة : تكنولوجيا الخرسانة.

الوحدة السادسة : الطوب والبلك.

الوحدة السابعة : الجير والجبس.

الوحدة الثامنة: المواد المعدنية (الحديد والألمنيوم).

الوحدة التاسعة : المواد الغير معدنية (الخشب، والبلاستيك متعدد كلوريد الفينيل، والزجاج).

الوحدة العاشرة : الدهانات ومواد العزل (العزل المائي والعزل الحراري).

وكل وحدة من الوحدات السالف ذكرها تتألف من موضوعات يتحقق من خلالها الأهداف الرئيسية المطلوبة بالإضافة إلى أنها مدعمة بالرسومات التوضيحية والتفصيلية وملحق بها جزء خاص بالاختبارات والتجارب المعملية.

نسأل الله العلي القدير أن نكون قد وفقنا في تأليف وتقديم هذه الحقيبة على الوجه المطلوب.

خواص واختبارات المواد

الأحجار الطبيعية والركام

الجدارة:

معرفة مختلف أنواع الحجارة ومكوناتها على الخصوص الرخام، والتعرف على استعمالاتها وخواصها. وكذلك معرفة الركام ومصادره. كما يطلع المتدرب على خواص الركام ومدى تأثيره على خواص الخرسانة وديمومتها.

الأهداف:

عند الانتهاء من دراسة هذه الوحدة يكون للمتدرب القدرة بإذن الله على :

- معرفة مختلف أنواع الحجارة
- معرفة الاستعمالات المختلفة وأهم خواص أحجار البناء
- معرفة مختلف أنواع الركام
- معرفة أهم خواص الركام ومقارنتها مع متطلبات المواصفات
- معرفة الاستعمالات للركام في صناعة الخرسانة

مستوى الأداء المطلوب:

أن يعرف المتدرب كيف يختار نوع الحجارة المتوفرة في المنطقة على حسب نوع التطبيق ومتطلبات المشروع، ويقدر أن يحدد خواصها الأساسية.

أن يعرف المتدرب كذلك كيف يختار نوع الركام حسب متطلبات المشروع والمواد المتوفرة بالمنطقة، ومقدرته على تحديد خواص هذا الركام عملياً وتصنيفه حسب المواصفات.

الوقت المتوقع للتدريب:

(٤) ساعات للجزء النظري و (٤) ساعات للتدريبات العملية.

الوسائل المساعدة:

- وسائل عرض.
- الأدوات والمعدات المناسبة لعمل الاختبارات.
- ملابس خاصة بالمعمل.
- ملحق الاختبارات والتجارب المعملية.

متطلبات الجدارة:

معرفة عامة بالأحجار والركام.

١- الأحجار الطبيعية والركام

١-١- مقدمة :

الحجارة عبارة عن مركب معدني ينشأ عن اندماج مجموعة من المعادن، وقد تتركب الحجارة من معدن واحد فتسمى وحيدة المعدن Monomineral Stone أو تتركب من مجموعة من المعادن وتسمى متعددة المعادن Polymineral Stone.

١-٢- أقسام الصخور : Rock Classification

يمكن تقسيم الصخور بناء على أصل نشأتها إلى ثلاث مجموعات :

١-٢-١- الصخور النارية أو الاندفاعية Igneous Rocks :

تتكون هذه الصخور من الحمم البركانية أو كتل الصهير Magma المندفعة من باطن الأرض وتتصلب بعد أن تبرد. وتنقسم هذه الصخور إلى ثلاث مجموعات حسب الظروف التي بتأثيرها تصلبت وتبلورت:

- المجموعة الأولي : وهي الصخور الجوفية أو العميقة التي تكونت أثناء تصلب الصهير في أعماق قشرة الأرض ببطء مثل الجرانيت Granite
- المجموعة الثانية : وهي الصخور السطحية التي نشأت من تصلب الصهير الفائض على وجه الأرض، وقد وقعت عملية التصلب بسرعة مثل البازلت Basalt
- المجموعة الثالثة : وهي الحجارة تحت السطحية أو المتوسطة (من حيث العمق)، وقد نشأت هذه الحجارة أثناء تصلب الصهير في داخل قشرة الأرض ولكن قريباً من السطح مثل البورفير Porphyre.

١-٢-٢- الصخور الرسوبية Sedimentary Rocks :

وهي التي تتكون على سطح الأرض نتيجة لتحطيم الصخور وتعرضها لعمليات التفكك الميكانيكياً والتحلل الكيميائي، ولتأثير عوامل التعرية، وبفعل الكائنات النباتية والحيوانية.

ويمكن تقسيم الحجارة الرسوبية بناء على أصل نشأتها إلى الأقسام الرئيسية الثلاثة الآتية :

- الصخور الرسوبية الميكانيكية : وترجع نشأتها إلى تحطيم الصخور الأصلية ميكانيكياً. ويتم تحطيم الصخور ونقلها ثم ترسيبها بواسطة العوامل الجوية (الرياح،و المياه،و الثلوج) مثل الحصى، والرمل الطمي، والطين.

- الصخور الرسوبية الكيميائية : وهي تنشأ من ترسيب المواد التي تحويها المحاليل عندما ترتفع درجة تركيزها مثل الجبس الذي يتركب من كبريتات الكالسيوم.
- الصخور الرسوبية العضوية : وهي التي تنشأ من تراكم هياكل العضويات الحيوانية والنباتية مثل الفحم البني أو الفحم القطراني.

وأكثر الصخور الرسوبية شيوعاً هي الحجارة الجيرية Limestone وتعتبر من الترسبات الكيميائية والعضوية.

١-٢-٣- الصخور المتحولة Metamorphic Rocks :

تشكلت هذه الصخور نتيجة تعرض الصخور النارية والرسوبية لضغط شديد أو حرارة مرتفعة أو كليهما معاً. وينتج عن هذا التحول تغيير في تركيبها المعدني والكيميائي ونسيجها ومظهرها الخارجي.

فمثلاً تحول الحجر الجيري إلى رخام Marble والحجر الرملي إلى كوارتزيت Quartzite والطين إلى إردواز Slate.

١-٣- الرخام Marble :

١-٣-١- مصادر الرخام :

الرخام هو حجر طبيعي بلوري متحول يمكن صقله، ويوجد بألوان طبيعية مختلفة، ويتكون أساسا من واحد أو أكثر من المعادن الطبيعية (مثل الكالسيت Calcite، الدولوميت Dolomite، حجر الحية "السربنتين" Serpentine أو الترافنتين Traventine).

يتم استخراج الصخور المكونة للرخام من المحاجر بكتل كبيرة، وتنقل إلى مصانع الرخام لقصها ضمن قياسات محددة للاستعمالات المختلفة في المجالات الإنشائية المتعددة.

١-٣-٢- أنواع الرخام :

يصنف الرخام، حسب المواصفات القياسية السعودية، من حيث التركيب الكيميائي إلى ستة أنواع هي :

- الرخام الكالسيتي : رخام يحتوي على أقل من ٥ ٪ من كربونات المغنسيوم.
- الرخام الدولوميتي : رخام يحتوي على ٥ ٪ إلى ٤٠ ٪ من كربونات المغنسيوم.
- الرخام العقيقي Onyx Marble : رخام يحتوي على كربونات الكالسيوم المترسبة والتي عادة تتشكل بالترسيب البطيء للمحاليل الباردة من مياه الينابيع المشبعة بثاني أكسيد الكربون، والتي تكون بصفة عامة شفافة وعلى شكل طبقات وبألوان مظللة ويغلب عليها الألوان الصفراء والبنية والخضراء.

- رخام حجر الحية : رخام يحتوي على كمية عالية من معدن (السربنتين) ويطلق عليه سيليكات المغنسيوم المائية.
- الرخام الأخضر المعرق أو المجزع : رخام يحتوي على (سربنتين) متكتل وقابل للصقل بدرجة عالية.
- رخام الترافنتين : رخام يحتوي على طبقات مسامية أو خلوية من الكالسيت المتبلور جزئياً من أصل كيميائي والذي يتشكل عموماً بالترسيب من المحاليل الساخنة لمياه الينابيع المشبعة بثاني أكسيد الكربون.

كما يصنف الرخام من حيث اللون إلى ما يلي :

- الأبيض السادة : أبيض ناصع، وأبيض بظلال خفيفة، وأبيض بظلال داكنة رمادية أو زرقاء.
- أبيض معرق.
- ملون : أسود سادة، وأخضر سادة، ووردي سادة، ورمادي سادة، وبني سادة. ويمكن أن تكون مع كل لون عروق مختلفة الألوان.

١-٣-٣- خواص الرخام :

- المظهر : يجب أن يكون السطح سليماً مستوياً خالياً من المواد الغريبة والشروخ الشعرية والحفر. ويجب أن يكون سليم الحواف وبدون كسر في الأطراف والزوايا.
- امتصاص الماء : لا تزيد النسبة المئوية لامتصاص الماء على ٠,٢ ٪ بالوزن.
- الوزن النوعي : يجب ألا يقل الوزن النوعي عن ٢,٦ جم/سم^{3}.
- مقاومة الضغط : يجب ألا تقل مقاومة الضغط عن ٥٢ نيوتن/مم^{2}.
- مقاومة التآكل Abrasion Resistance : يجب ألا تقل مقاومة التآكل عن ١٠.
- معاير الصلادة Hardness Modulus : يجب ألا يقل معاير الصلادة عن (٣) درجات حسب مقياس الصلادة.

١-٣-٤- استعمالات الرخام :

يستعمل الرخام غالباً في :

- تكسية الجدران والأعمدة Cladding : وهي تغطية خارجية غير حاملة للمنشأة.
- تبليط الأرضيات.
- السلالم : نوائم وقوائم السلالم الخرسانية.

١-٤- أحجار البناء Building Stones :

١-٤-١- مصادر أحجار البناء :

يعد حجر البناء حجراً طبيعياً ناتجاً من تعدين الصخور الطبيعية. وغالباً ما ينتج حجر البناء من الصخور الرسوبية أو الصخور المتحولة، وقد يكون من الصخور النارية في بعض الأحيان. وفي حالة الصخور الرسوبية يصنع حجر البناء من الحجر الجيري الكلسي بأنواعه Limestone. وينتج حجر البناء أيضاً من حجر الدولومايت Dolomite وهو عبارة عن كربونات الكالسيوم والمغنسيوم أو خليط منهما.

وتتم عمليات استخراج الكتل الصخرية في المحاجر كما يلي :

١- إزالة الطبقة الترابية العلوية التي تغطي الطبقة الصخرية.
٢- قص الصخور بطريقة عمل بسطات مدرجة لتسهل عملية الاستخراج من المحجر.
٣- إحداث شقوق ممتدة من الطبقة الصخرية وذلك بتفجير داخل المحجر من خلال ثقوب في الطبقة الصخرية.
٤- توسيع الشقوق الممتدة في الطبقة الصخرية الناتجة عن التفجير بدق أسافين حديدية ذات أطوال مختلفة في تلك الشقوق بواسطة مطرقة ثقيلة.
٥- تقلع القطع الصخرية عن بعضها البعض باستخدام عتلة يدوية.
٦- تكسر القطع الصخرية الكبيرة باستخدام ضواغط الهواء أو مطارق لقطع أصغر لتسهيل عملية النقل.
٧- تنقل القطع الصخرية إلى منشار إلى لتقص بالأبعاد والأشكال المطلوبة.

١-٤-٢- أنواع أحجار البناء :

تقسم أنواع حجر البناء حسب نوع الصخور المصنع منها، وتكوينها وتركيبها الكيميائي وخصائصها الفيزيائية والميكانيكية. وأهمها الوحدات الصخرية الرسوبية، الجيرية الكتلية Soft and Hard Limestone Unit والتي بدورها تنقسم إلى أنواع مختلفة :

- الحجر الجيري المتبلور Crystalline Limestone
- الحجر الجيري الدولومايتي Dolomitic Limestone
- الحجر الجيري الطباشيري Chalky Marl Limestone
- الحجر الجيري السيليسي Silicated Limestone
- الحجر الجيري الفسفوري (الفوسفاتي) Phosphoric Limestone

- الحجر الجيري النموليتي Numuletic Limestone

١-٤-٣- خواص أحجار البناء :

من أهم الخصائص التي يعتمد عليها في جودة حجر البناء ما يلي :

- مقاومة الضغط (ASTM C179) : تصنف أحجار البناء حسب مقاومتها للضغط إلى ثلاثة أصناف :
  - الصنف أ : يجب أن يكون الحد الأدنى لمقاومة الضغط ٥٥ نيوتن/مم^{٢}
  - الصنف ب : يجب أن يكون الحد الأدنى لمقاومة الضغط ٢٨ نيوتن/مم^{٢}
  - الصنف ج : يجب أن يكون الحد الأدنى لمقاومة الضغط ١٢ نيوتن/مم^{٢}
- امتصاص الماء (ASTM C97) : يجب أن لا تزيد نسبة الامتصاص لأحجار البناء للأصناف أ ، ب، ج عن :٣، ٤,٢ ، ٧,٥ ٪ على التوالي كحد أقصى. ذلك أن زيادة نسبة الامتصاص في حجر البناء تنعكس انعكاساً مباشراً على خواص الحجر الأخرى.
- الوزن النوعي (ASTM C97) : يتراوح الوزن النوعي لأحجار البناء بين ٢,١٦ و ٢,٥٦ جم/سم^{٣}. ويفضل استخدام حجر البناء ذي الوزن النوعي والكثافة العالية تلافياً لحدوث بعض المشاكل أثناء عملية التشغيل للبناء ولحسن مقاومته للعوامل الجوية المختلفة.
- مقاومة التآكل Abrasion Resistance (ASTM C241) : يتم تحديد هذه الخاصية الميكانيكية بهدف معرفة مقاومة الأنواع المختلفة لحجر البناء للتآكل السطحي وخاصة عند استعمالها للأرضيات أو في الأماكن المعرضة لكثافة حركة المرور. وكذلك لمعرفة مدى مقاومة حجر البناء للعوامل الجوية وعوامل التآكل والاهتراء. وتنص المواصفات على تحديد القيم الدنيا لمقاومة التآكل لجميع الأصناف والأنواع لحجر البناء بحدود ١٠ ٪.

"ASTM "American Society for Testing and Materials أو المنظمة الأمريكية للإختبارات والمواد"" هي منظمة عالمية أنشئت في الولايات المتحدة الأمريكية سنة ١٨٩٨ م تحت إشراف شارل بنجامين ديودلاي Charles Benjamin Dudley. وكان مؤسسوها من العلماء والمهندسين يريدون آنذاك تطوير جودة الحديد المستعمل في إنشاء السكك الحديدية للحد من كثرة انكساره. وتقوم المنظمة حالياً بصياغة مواصفات تقنية تهم المواد ونظم الإنشاء حيث توصلت اليوم من كتابة حوالي ١٢٠٠٠ مواصفة مجمعة في ٧٧ مجلداً. ويتكون أعضاؤها من الصناعيين والمستهلكين وحكومات وجامعات من ما يزيد عن ١٠٠ بلد.

١-٤-٤- استعمالات أحجار البناء :

من أهم استعمالات حجر البناء ما يلي :

- ♦ تشييد الحوائط : تستعمل الحجارة كلبنات توضع فوق بعضها البعض مصفوفة في مداميك Course Ashlars أو بدون مداميك Random Ashlars ومربوطة بمونة إسمنتية للبناء، وفي أغلب الأحيان حوائط حاملة.
- ♦ تكسية الحوائط : ويمكن استعمالها في إظهار زينة البيوت وذلك بتلبيس الحوائط عوضاً عن الرخام.

١-٥- الركام Aggregates :

١-٥-١- تكوين الركام :

يطلق اسم الركام على الحبيبات الصخرية التي تكون متدرجة الحجم من حبيبات رملية صغيرة إلى حصى وحبيبات كبيرة من الزلط أو الأحجار المكسرة. ويمثل الركام في الخرسانة الجزء المالئ الخامل نسبياً ويشغل حوالي ٧٥ ٪ من حجم الكتلة الخرسانية.

ويبرز دور الركام في الكتل الخرسانية في الآتي :

- ♦ يكون الركام جسم الخرسانة الذي يستطيع أن يقاوم الأحمال التي تتعرض لها ومقاومة العوامل الجوية المختلفة من حرارة وبرودة وجفاف ورطوبة.
- ♦ يعد الركام المادة المالئة الرخيصة لتكوين الخرسانة مع المادة اللاحمة (عجينة الإسمنت).
- ♦ يساعد الركام على خفض التغيرات الحجمية الناتجة من شك وتصلد عجينة الإسمنت والماء، وكذلك من تأثير الرطوبة على الخرسانة.

١-٥-٢- أنواع الركام ومصادره :

١-٥-٢-١- الركام العادي من المصادر الطبيعية، و ينقسم هذا النوع إلى :

- ♦ ركام الوديان والأنهار : يستخرج هذا النوع إما عن طريق حفر المحاجر في الأودية أو الحصول عليه من الأنهار (بالشفط)، وعادة ما يجرى غسله وفصله في مجموعات حبيبية ومن ثم إعادة خلطه وتكوين الركام المطلوب منه في الأماكن الخاصة بتجهيزه.
- ♦ ركام الكسارات Crushed Aggregates : يقع تكسير الصخور الطبيعية المستخرجة من المحاجر بواسطة كسارات، حيث يتم الحصول على مقاسات مختلفة من الحصى والرمل.

١-٥-٢-٢- الركام الخفيف Lightweight Aggregates : وينقسم إلى :

- ركام خفيف طبيعي مثل خبث البراكين Volcanic Scoria والحجر الخفاف Pumice.
- ركام خفيف صناعي مثل الطين المحروق Expanded Clay وخبث الأفران العالية Slag.

ويستعمل الركام الخفيف في صناعة الخرسانة الخفيفة للعزل الحراري.

١-٥-٢-٣- الركام الثقيل Heavyweight Aggregates : يستعمل الركام الثقيل في الخرسانة للحماية من الإشعاعات الذرية والإشعاعات الخطيرة الموجودة في الهواء.

١-٥-٣- خواص الركام :

١-٥-٣-١- الخواص الفيزيائية :

- الوزن النوعي للركام = $\frac{\text{وزن الركام}}{\text{حجم الركام}}$ جم/سم^{3} (١-١)

حيث حجم الركام هو حجم الحبيبات بدون اعتبار الفراغات بين الحبيبات.

ويتراوح الوزن النوعي للرمل والحصى بين ٢,٥ و ٢,٧٥ جم/سم^{3}

بينما الوزن الحجمي للركام يتطلب اعتبار الفراغات بين الحبيبات.

ويتراوح الوزن الحجمي للرمل بين ١,٥ و ١,٨٥ جم/سم^{3} وللحصى بين ١,٦ و ١,٨ جم/سم^{3}.

- نسبة الفراغات في الركام = $\frac{\text{حجم الفراغات}}{\text{الحجم الكلي}}$ × ١٠٠ ٪ (١-٢)

نسبة الفراغات في الركام = ١ − $\frac{\text{الوزن الحجمى}}{\text{الوزن النوعي}}$ × ١٠٠ ٪ (١-٣)

- نسبة امتصاص الماء = $\frac{\text{وزن الركام مبللاً} - \text{وزن الركام جافاً}}{\text{وزن الركام جافاً}}$ × ١٠٠ ٪ (١-٤)

١-٥-٣-٢- شكل وسطح الحبيبات :

يقسم الركام بالنسبة لشكل حبيباته إلى :

- ركام مدور Round مثل زلط الأنهار وشواطئ البحار.

- ركام غير منتظم Irregular مثل زلط الحفر والمحاجر.
- ركام زاوي Angular مثل أحجار الكسارات.
- ركام مبطط Flaky مثل الصخور الطبقية.
- ركام عصوي Elongated مثل الصخور الطبقية أو التي تعرضت لعوامل تعرية.
- ركام مفلطح Flaky and Elongated مثل الصخور الطبقية.

ويعتبر الشكل الأقرب إلى المدور والمكعب أفضل الأشكال المناسبة لركام الخرسانة. كما يجب اجتناب الركام الذي يحتوي على نسبة تفوق ١٠ إلى ١٥ ٪ من الحبيبات العصوية والمفلطحة.

ويقسم الركام بالنسبة لسطح حبيباته إلى :

- زجاجي Glassy مثل الصوان الأسود.
- ناعم Smooth مصقول بفعل المياه مثل الإردواز والرخام.
- حبيبي Granular مثل الحجر الرملي.
- خشن Rough مثل البازلت والبور فير.
- بلوري Crystalline مثل الجرانيت والجابرو.
- معشش ومسامي Honeycombed مثل الحجر الخفاف.

وتعتبر الحبيبات ذات السطح الأملس مفيدة لتحسين تشغيلية ودمك الخرسانة. وتساعد الحبيبات ذات الأسطح الخشنة والمليئة بالنتوءات على تماسك جيد بين عجينة الإسمنت والركام ولكنها قد تصعب عملية التشغيل.

١-٥-٣-٣- التدرج الحبيبي Aggregate Grading :

التدرج الحبيبي هو تحديد الحجم الطبيعي للركام بفصل حبيباته عن بعضها البعض لمقاساتها بواسطة مجموعة من المناخل (شكل١) مرتبة حسب مقاس فتحتها وموضوعة فوق بعضها البعض (الشكل٢)، بحيث يكون أكبرها مقاساً في الأعلى وأصغرها مقاسا في الأسفل. ويجرى نخل الركام عليها ويحدد الوزن المحجوز على كل منخل (المنخل يعرف بمقاس فتحته أي طول ضلع الفتحة)، ثم تحسب النسبة المئوية لوزن الركام المار من كل منخل (انظر المثال المدرج في الجدول (١)).



الشكل١ : المناخل القياسية



الشكل٢ : جهاز لهز مجموعة من المناخل

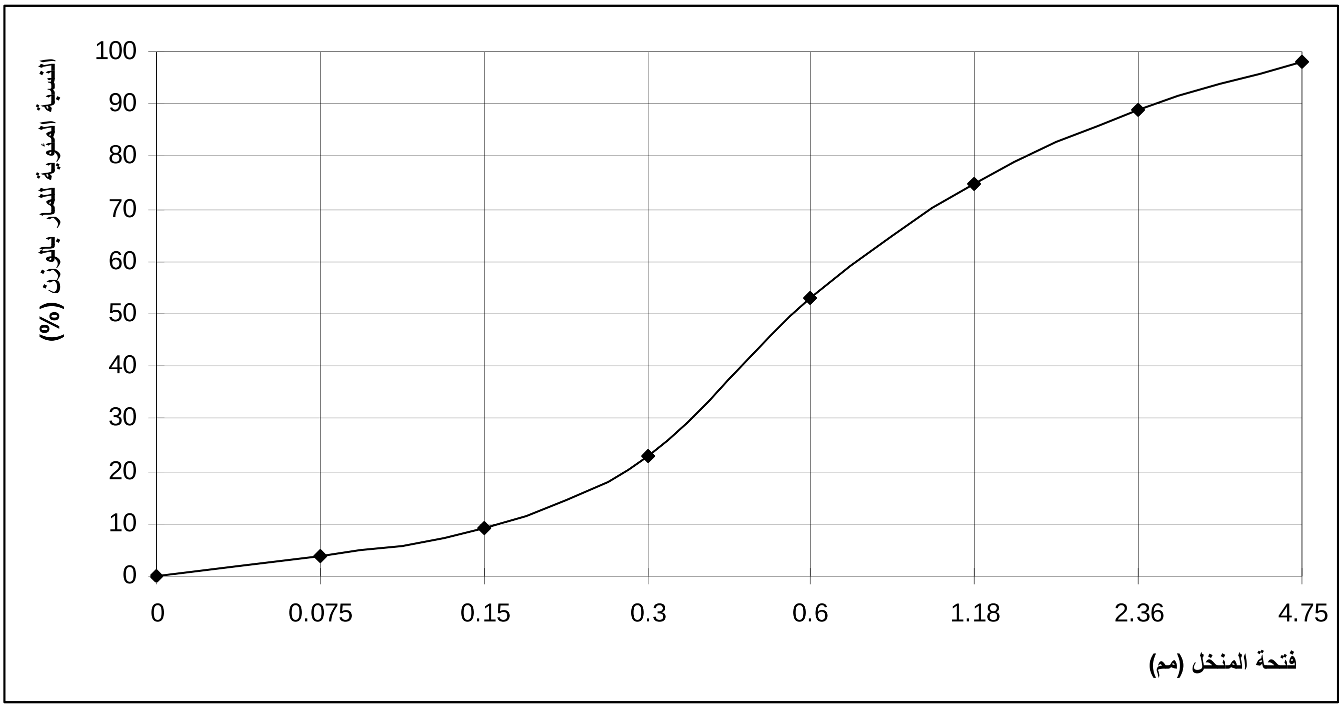
الجدول (١) : نتائج تجربة نخل عينة من الركام الصغير وزنها ٢٠٠٠ جم

فتحة المنخل (مم)	وزن المحجوز التراكمي (جم)	النسبة المئوية للمحجوز (٪)	النسبة المئوية للمار (٪)
٤,٧٥	٤٥	٢	٩٨
٢,٣٦	223	11	٨٩
١,١٨	504	25	٧٥
٠,٦	943	47	٥٣
٠,٣	١٥٤٤	٧٧	٢٣
٠,١٥	١٨١٩	٩١	٩
٠,٠٧٥	١٩١٨	٩٦	٤
وعاء	٢٠٠٠	١٠٠	٠

ثم توقع بيانياً العلاقة بين مقاس فتحة المنخل والنسبة المئوية للركام المار منه ليعبر هذا الرسم عن مدى التوزيع الحجمي للحبيبات بالركام أي مدى التدرج الحبيبي.

ويرسم منحنى التدرج الحبيبي الذي يمثل فيه خط الصادات النسبة المئوية المارة من المنخل وخط السينات فتحات المناخل. وعادة يتم تمثيل خط السينات لوغاريتمياً (انظر الشكل (٣)).

الشكل (٣) : منحنى التدرج الحبيبي للركام الصغير



ينقسم الركام من حيث تدرجه الحبيبي إلى الأنواع التالية :

- الركام المتدرج Graded Aggregates وهو الركام الذي يحتوي على معظم مقاسات المناخل القياسية.
- الركام الجيد التدرج Well Graded Aggregates وهو الركام الذي يحتوي على الكميات المناسبة من المقاسات المختلفة للمناخل القياسية.
- الركام الناقص التدرج Gap Graded Aggregates وهو الركام الذي لا يوجد فيه مقاس أو أكثر من مقاسات الركام المختلفة.

وتهدف معرفة التدرج الحبيبي للركام إلى الحصول على تدرج مناسب لركام يكون خليطاً من الحبيبات الصغيرة والكبيرة لاستخدامه في الخلطات الخرسانية لضمان سهولة تشغيل الخرسانة وتصلدها بالمقاومة المطلوبة مع مراعاة التوفير في التكاليف.

حدود التدرج الحبيبي : تحدد بعض المواصفات منحنيات تدرج تمثل المنطقة التي يقع بها منحنى التدرج الحبيبي للركام المستعمل حتى تكون الخرسانة الناتجة جيدة أو مقبولة وتكون هذه الحدود أحياناً على هيئة نسب مئوية للحدين الأقصى والأدنى للركام المار لكل منخل من مناخل الاختبار، ومنها يمكن رسم منحنيات التدرج الحبيبي الأقصى والأدنى المسموح بها فتحصر بينها المنطقة الواجب أن يمر بها منحنى التدرج للركام المستعمل.

معاير النعومة Fineness Modulus :

هو المعامل الذي يصف المقاس المتوسط للركام، ويستعمل بكثرة في دراسة ركام الخرسانة. ويستنتج من جداول التحليل بالمناخل للركام.

وقد حدد أبرامز Abrams معاير النعومة بأنه مجموع النسب المئوية المحجوزة على المناخل القياسية التسعة من الركام مقسوماً على ١٠٠. والمناخل القياسية المستعملة للرمل هي : ٠,١٥ – ٠,٣ – ٠,٦ – ١,٢ – ٢,٤ – ٤,٧٥ مم. ويدل هذا المعاير على متوسط مقاس الركام، فيكون للرمل محصورا بين ٢ و ٣,٢ وللحصى بين ٥ و ٨. ويكون معاير النعومة للركام الصغير المشار إليه في المثال السابق = (٢ + ١١ + ٢٥ + ٤٧ + ٧٧ + ٩١) / ١٠٠ = ٢,٥٣

المقاس الاعتباري الأكبر للركام الكبير Maximum Aggregate Size :

هو مقاس أصغر فتحة منخل يسمح بمرور ٩٥ ٪ على الأقل من الركام الكبير. وكلما كبر المقاس الاعتباري الأكبر للركام كلما زاد الوزن الحجمي وتحسنت نسبياً مقاومة الخرسانة للأحمال، مع توفير في كمية الإسمنت المستخدمة نظراً لقلة المساحة السطحية للركام.

ويتراوح المقاس الاعتباري الأكبر للركام ما بين ٣٧,٥ و ١٩ مم لأعمال الخرسانة العادية. أما في أعمال الخرسانة الكتلية فيستخدم ركام مقاسه الاعتباري الأكبر حوالي ١٥٠ مم، ولا يفضل استخدام ركام بحجم أكبر من ١٥٠ مم لصعوبة مناولته وتشغيله.

يجب أن يقل المقاس الاعتباري الأكبر للركام عن : ١/٥ البعد الأصغر للقطاع الخرساني، ١/٣ سمك البلاطة الخرسانية، ٣/٤ المسافة بين أسياخ حديد التسليح. كما يجب أن يكون المقاس الاعتباري أقل من سمك الغطاء الخرساني حتى تحيط الخرسانة بجميع الأسياخ.

١-٥-٣-٤- الخواص الميكانيكية :

- مقاومة الركام للتهشيم The Crushing Strength :

تحدد مقاومة الركام للتهشيم بتعيين معامل التهشيم Aggregate Crushing Value ACV وهو النسبة المئوية بالوزن للركام المار من المنخل القياسي ٢,٥ مم، وذلك بعد تعريض عينة الاختبار لضغط قدره ٤٠ طناً.

- متانة الركام Thoughness of Aggregates :

تعين متانة الركام بإجراء اختبار المتانة على عينة اسطوانية الشكل قطرها ٢٥ مم وارتفاعها ٢٥ مم. وفي هذا الاختبار تسقط مطرقة قياسية وزنها ٢ كجم يبدأ من ارتفاع سنتيمتر واحد على عينة الاختبار ثم

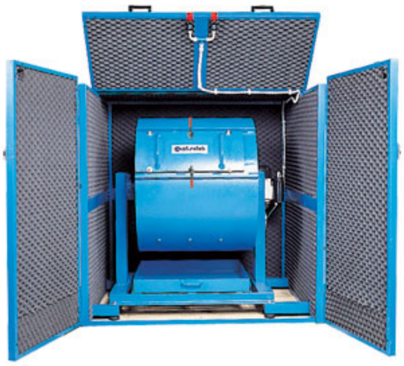
يكرر ذلك مع زيادة الارتفاع في كل مرة على سابقتها بمقدار سنتيمتر واحد. ويكون عدد الدقات اللازمة لكسر العينة هو مقياس متانة الركام.



الشكل٤ : جهاز قياس متانة الركام

- مقاومة الركام للتآكل (اختبار لوس انجلوس (Los Angeles Abrasion :

توضع عينة من الركام في ماكينة لوس انجلوس ومعها عدد من الكرات الحديدية. وتدار الماكينة ٥٠٠ لفة ، ثم تستخرج العينة وتنخل على منخل ١,٤ مم.



شكل٥ : ماكينة لوس أنجلوس داخل غطاء واقٍ

وتعين نسبة التآكل من القانون التالي :

$$\text{نسبة التآكل} = \frac{\text{الوزن المار من المنخل ١,٤ مم}}{\text{الوزن الأصلي للعينة}} \times ١٠٠ \qquad (١-٥)$$

ويجب أن تكون نسبة التآكل أقل من ٤٠ لركام الخرسانة الإسمنتية.

١-٥-٤- الشوائب في الركام Deleterious Substances in Aggregates :

هي المواد التي تؤدي إلى أحد الأضرار التالية بالخرسانة :

- مواد ضارة بتصلد وتصلب الخرسانة.
- مواد تساعد على تشقق وتصدع الخرسانة.
- مواد تخفض كثافة ومقاومة الخرسانة.
- مواد تؤثر على حماية حديد التسليح.

- المواد المترسبة (الناعمة جداً) Clay and other Fine Material : تكون عادة من الطين أو طحين الحجارة (أقل من ٠.٠٦٣ مم)، ولا تكون دائماً ضارة للخرسانة، فقد تعمل على زيادة مقاومتها عندما تكون بكميات قليلة موزعة مع الركام الناعم، فتساعد على سد الفراغات فيه.
ويظهر ضررها واضحاً عندما تكون بكميات كبيرة، فتتطلب كمية أكبر من الماء والعجينة الإسمنتية. وتعلق على الحبيبات الكبيرة فتمنع التحامها الجيد مع العجينة الإسمنتية، أو تبقى أثناء الخلط ولا تتفتت أو تندمج مع الخليط، فتظل كمنطقة ضعيفة في الخرسانة المتصلدة مما يعمل على خفض مقاومة الخرسانة أو التقليل من قيمتها المطلوبة والمتوقعة. والحد الأعلى المسموح به لكمية المواد المترسبة هو: ٥ ٪ للرمل و ٣ – ٤ ٪ للحصى الصغير و ٢ ٪ للزلط.

- المواد العضوية Organic Impurities : تتكون من مواد نباتية وحيوانية كالفحم والخشب والعظام. وهذه المواد تؤثر على تصلب الإسمنت وتنحل وتضمحل مع الوقت لتكون فراغات داخل الخرسانة وبالتالي تضعف من مقاومتها. وللتأكد من عدم وجود هذه المواد بنسبة ضارة، يجب القيام بالاختبار المذكور في الجزء العملي "تعيين الشوائب العضوية في الرمل الطبيعي".

- الأملاح والمواد السكرية Salt and Sugar Contamination : هذه المواد تضر بتصلب وتصلد الخرسانة. ويتم التأكد من عدم وجود هذه المواد بأفضل طريقة وهي عمل خلطات خرسانية بركام معروف بجودته، وأخرى مماثلة من الركام المشكوك فيه. يجرى اختبار مكعباتها (أو اسطوانتها) بعد ٧، و٢٨ يوماً. فإذا كانت مقاومة الخرسانة المشكوك في ركامها تقل ١٥٪ عن الأولى دل ذلك على أن الركام يحتوي على مواد ضارة.

- مركبات الكبريت : تسبب المركبات الكبريتية إذا وجدت بكميات كبيرة وتحت ظروف معينة إلى تمددات داخلية كبيرة وبالذات عندما توجد مع الركام الناعم لأن مساحة التفاعلات تكون في هذه الحالة كبيرة. وتتفاعل أو تتأكسد في وجود الماء عندما تكون من العناصر القابلة للذوبان فيه. وفي

الحالات المشكوك فيها يجب التأكد من أن المركبات الكبريتية القابلة للذوبان لا تزيد كميتها عن ١ ٪ من كمية الركام المجفف عند درجة حرارة ١٠٥ درجة مئوية.

- التفاعل القلوي للركام Alkali Aggregate Reaction : إذا استعمل عند خلط ركام من شكل معين متبلور من السليكا ، يتواجد في بعض الصخور البركانية الحمضية مع إسمنت به نسبة عالية من القلويات، فيحدث تفاعل بين هذا الركام والقلويات ينتج عنه زيادة في الحجم تحدث أحياناً بعد سنتين أو أكثر من صب الخرسانة. وينتج عن زيادة الحجم تشرخ وتفتت الخرسانة. ولتلافي هذا التفاعل يراعى تحديد نسبة القلويات التي يحتويها الإسمنت وقد حددتها بعض المواصفات بما لا يزيد عن ٠,٦ ٪ من وزن الإسمنت.

١-٥-٥- استعمالات الركام :

يستعمل الركام، في مجال هندسة الإنشاء، أساساً في :

١- صناعة الخرسانة الإسمنتية.
٢- طبقات الرصف للطرق والتي تقسم إلى طبقات مواد الأساس Base وطبقات مواد ما تحت الأساس Sub Base.
٣- صناعة الخرسانة الإسفلتية.
٤- مواد للردم.

١-٦- أسئلة وتمارين :

١- ما أقسام الصخور الطبيعية ؟ أعط مثالاً لكل نوع
٢- ما مصدر الرخام ؟ ذكر أهم خواص الرخام
٣- ما استعمالات أحجار البناء ؟ ذكر أهم خواص أحجار البناء
٤- ما أنواع ومصادر الركام ؟
٥- ما الأشكال المفضلة وغير المقبولة لحبيبات الركام؟ ولماذا ؟
٦- ما تأثير أسطح حبيبات الركام على خواص الخرسانة ؟
٧- تم القيام بتجربة نخل لعينتين من الركام الصغير، فكانت النتائج كالتالي :

فتحة المنخل (مم)	وزن المحجوز التراكمي (جم) للعينة ١	وزن المحجوز التراكمي (جم) للعينة ٢
٤,٧٥	٥٤	٢٨
٢,٣٦	٢٤٥	١٦٥
١,١٨	٤٩٨	٢٥٥
٠,٦	٩٦٢	٦٢٥
٠,٣	١٤٨٨	١٠٥٢
٠,١٥	١٨٧٤	١٦٤٥
٠,٠٧٥	١٩٢٥	١٨٩٥
وعاء	٢٠٠٠	٢٠٠٠

- رسم منحنى التدرج الحبيبي لكل من العينة رقم ١ والعينة رقم ٢ ؟
- حسب معاير النعومة لكل عينة ؟
- أي من العينتين أجدر بالاستعمال في صناعة الخرسانة ؟ ولماذا ؟

٨- أجريت تجربة مقاومة التآكل (اختبار لوس انجلوس) على عينتين من الحصى، فكانت النتائج كالتالي :

رقم العينة	الوزن الأصلي للعينة (جم)	الوزن المحجوز على المنخل ١,٤ مم (جم)
١	٥٠٠٠	٢٩٥٠
٢	٥٠٠٠	٣٩٠٠

- حدد نسبة التآكل لكل نوع من عينات الركام
- أي عينة من الركام تختار لصناعة خرسانة إسمنتية ؟ ولماذا ؟

٩- ما الشوائب الممكن تواجدها في الركام ؟ وما أضرارها على الخرسانة ؟

خواص واختبارات المواد

الإسمنت

الجدارة:

تعرف المتدرب على مختلف أنواع الإسمنت حسب المواصفات القياسية السعودية وطريقة صناعته. وكذلك معرفة خواص وطرق اختبارات الإسمنت.

الأهداف:

عند الانتهاء من دراسة هذه الوحدة يكون للمتدرب القدرة بأذن الله على :

- معرفة أنواع الإسمنت حسب المواصفات القياسية السعودية
- معرفة الاستعمالات لكل نوع من الإسمنت حسب الحاجة والموقع
- معرفة خواص الإسمنت.
- استلام عينات الإسمنت.
- إجراء الاختبارات المعملية المطلوبة على الإسمنت ومطابقتها بالمواصفات.

مستوى الأداء المطلوب:

أن يعرف المتدرب كيف يختار نوع الإسمنت حسب متطلبات الموقع والمشروع، ومقدرته على تحديد خواص هذا الإسمنت عملياً والحكم على مدى صلاحيته للاستعمال.

الوقت المتوقع للتدريب:

٤ ساعات للجزء النظري و٤ ساعات للتدريبات العملية.

الوسائل المساعدة:

- وسائل عرض.
- الأدوات والمعدات المناسبة لعمل الاختبارات.
- ملابس خاصة بالمختبر.
- ملحق الاختبارات والتجارب المعملية.

متطلبات الجدارة:

معرفة ما سبق دراسته في الوحدة الأولي حول الحجارة الطبيعية.

٢- الإسمنت Cement

٢-١- تعريف الإسمنت :

الإسمنت هو مادة ناعمة ولاحمة إذا أضيف لها الماء تتحول إلى عجينة إسمنتية طرية، ثم تتحول بعد فترة من الزمن إلى مادة صلدة، وتكتسب مع الوقت مقاومة خصوصاً إذا وضعت في الماء (ولذلك يسمي بالإسمنت الهيدروليكي).

ويتكون بشكل رئيسي من أكسيد الكالسيوم (CaO) وثاني أكسيد السليكون (SiO_2) وأكسيد الألمنيوم (AL_2O_3) وأكسيد الحديد (Fe_2O_3) ويضاف لها كبريت الكالسيوم بعد الحرق.

٢-٢- صناعة الإسمنت :

يصنع الإسمنت من خليط من الحجر الكلسي بنسبة ٧٥ ٪ و ٢٥ ٪ من الطين. ويمكن إضافة خام الحديد أو الرمل إذا كان الطين يحتوي على نسبة ضعيفة من أكسيد الحديد أو أكسيد السليكون.

وتمر صناعة الإسمنت بالمراحل الرئيسية التالية :

١) تجهيز المواد الخام :

تستخرج المواد الخام من المحاجر القريبة من المصنع. ثم يتم تكسيرها إلى حبيبات في شكل حصى يتراوح مقاسها بين ١٠ و ٥٠ مم. ثم تخزن هذه المواد في مخازن معدة لهذا الغرض، وبعدها تسحب من المخازن وتطحن وتجهز بإحدى الطرق التالية :

- الطريقة الرطبة : تطحن المواد على شكل عجين Slurry تحتوي على حوالي ٣٢ – ٤٠ ٪ من الماء. وتستعمل إذا كانت نسبة الرطوبة في المواد الخام عالية. ومن أهم مميزاتها أنها تساعد على تجانس المواد الخام قبل دخولها إلى الفرن.
- الطريقة النصف رطبة : للتخلص من كمية كبيرة من الماء الموجود في العجين لتخفيض استهلاك الوقود في عملية الحرق.
- الطريقة النصف جافة : تتشكل البودرة في شكل كرات صغيرة بواسطة صحن دوار، ويضاف إلى المواد الأولية المطحونة نسبة قليلة من الماء حتى تتكون كرات صلبة قطر الواحدة منها حوالي ١٥ مم.
- الطريقة الجافة : وهي الطريقة الأحدث والأكثر شيوعاً، حيث تجفف المواد وتطحن في شكل بودرة Powder. وهي نتاج للتطور الكبير في تكنولوجيا صناعة الإسمنت، ولا تستهلك من الطاقة سوى ٦٠ ٪ من الوقود الذي تحتاجه الطريقة الرطبة. وسيكون التركيز على الطريقة الجافة في هذا الفصل.

٢) التخزين :

تخزن المواد الخام المطحونة (في شكل بودرة) في صوامع Silos خاصة. وفي هذه الفترة يتم تعديل تركيبتها الكيميائية وذلك بالتحكم في نسب العناصر الأساسية (أكسيد الكالسيوم وثاني أكسيد السليكون وأكسيد الألمنيوم وأكسيد الحديد). كما يتم العمل على تجانسها وذلك بخلطها باستعمال الهواء المضغوط.

٣) الحرق :

تمر البودرة عبر ٤ أو ٥ طوابق حيث تتعرض إلى درجة حرارة تصاعدية لتصل في أسفل الطوابق إلى ٩٥٠°. ثم تدخل الفرن لتحرق عند درجة حرارة تصل إلى ١٤٨٠°. والفرن دائري واسطواني الشكل وله ميل بسيط عن الأفق بدرجة (٢ – ٥°)، ويدور حول محوره المائل من ١ – ٢ دورة في الدقيقة. ويصل قطر الفرن إلى ٥ م وطوله إلى ٧٠ م.

وتمر المادة خلال عملية الحرق بمراحل ثلاثة :

- مرحلة تحول المادة الكلسية $CaCO_3$ إلى أكسيد الكالسيوم CaO عند ٩٥٠°.
- ذوبان المواد الرئيسية (أكاسيد الكالسيوم والسليكون والألمنيوم والحديد) في حرارة تتراوح بين ١٢٥٠° و ١٣٥٠°.
- مرحلة الانصهار بين المواد المختلفة والحصول على مواد جديدة وهي :
  - سيليكات ثلاثي الكالسيوم C_3S
  - سيليكات ثنائي الكالسيوم C_2S
  - ألومينات ثلاثي الكالسيوم C_3A
  - حديدي ألومينات رباعي الكالسيوم C_4AF

ويطلق على المواد الجديدة المتكونة اسم الكلنكر Clinker الذي هو عبارة عن حبيبات صغيرة يتراوح حجمها بين ٣ – ٢٥ مم. وتخرج من منطقة الحرق إلى مبردات خاصة لتبريده إلى درجة حرارة ١٠٠ – ٢٠٠°، ثم ينقل إلى مخازن الكلنكر.

٤) الطحن :

يطحن الكلنكر في مطاحن كرات مع إضافة الجبس بنسبة ٣ – ٥ ٪ وذلك لتعديل (تأخير) زمن الشك. ويتم الطحن لدرجة نعومة معينة، فيخرج الإسمنت في شكله النهائي حيث ينقل بواسطة مضخات هوائية إلى مخازن.خاصة

ويمكن تعبئة الإسمنت في أكياس من ورق الكرافت سعة ٥٠ كجم، كما يمكن أن ينقل الإسمنت السائب بواسطة سيارات خاصة إلى الخلاطات المركزية أو المشاريع الضخمة ليفرغ في مخازن صغيرة.



الشكل٦ : منظر عام لمصنع اسمنت

٢-٣- أنواع الإسمنت :

هناك أنواع عديدة من الإسمنت، من أهمها وأكثرها انتشاراً في العالم الإسمنت البورتلاندي. وقد صنفت المواصفات السعودية الإسمنت إلى (٥) أصناف موضحة في الجدول رقم (٢) :

الجدول (٢) : أنواع الإسمنت المختلفة حسب المواصفات السعودية

النوع	الاسم	الاستعمالات
نوع ١ Type 1	إسمنت بورتلاندي عادي Ordinary Portland Cement	في الاستعمالات عادية
نوع ٢ Type 2	إسمنت متوسط المقاومة للكبريتات Moderate Sulphate Resisting Cement	في الاستعمالات التي تحتاج إلى مقاومة الكبريتات متوسطة التركيز
نوع ٣ Type 3	إسمنت سريع التصلد Rapid Hardening Cement	في حالة الحاجة إلى مقاومة مبكرة وعالية
نوع ٤ Type 4	إسمنت منخفض الحرارة Low Heat Cement	في الكتل الخرسانية الكبيرة (حرارة تفاعلاته منخفضة)
نوع ٥ Type 5	إسمنت عالي المقاومة للكبريتات Sulphate Resisting Cement	في الاستعمالات التى تحتاج إلى مقاومة الكبريتات عالية التركيز

٢-٤- خواص الإسمنت :

٢-٤-١- الخواص الكيميائية :

تجرى عادة التحاليل والاختبارات الكيميائية لمراقبة عمليات صناعة الإسمنت وذلك للتأكد من تطابق التركيبة الكيميائية للمواد الخام لمتطلبات الإنتاج مع التركيبة النهائية للكلنكر. كما أن التحاليل تجرى على المادة النهائية المصنعة وهي الإسمنت للتأكد من جودة الإنتاج ومطابقتها للمواصفات. والجدول رقم (٣) يوضح نسب مركبات الإسمنت لأنواعه المختلفة حسب المواصفات الأمريكية.

الجدول (٣) : مركبات الأنواع المختلفة من الإسمنت طبقاً للمواصفات الأمريكية

نوع الإسمنت	مركبات الإسمنت بالنسبة المئوية (٪)			
	سيليكات ثلاثي الكالسيوم	سيليكات ثنائي الكالسيوم	ألومينات ثلاثي الكالسيوم	حديدي ألومينات رباعي الكالسيوم
نوع ١	٥٥	١٩	١٠	٧
نوع ٢	٥١	٢٤	٦	١١
نوع ٣	٥٦	١٩	١٠	٧
نوع ٤	٢٨	٤٩	٤	١٢
نوع ٥	٣٨	٤٣	٤	٩

٢-٤-٢- الخواص الفيزيائية :

- النعومة Fineness :

كلما كان الإسمنت أكثر نعومة كلما كانت المساحة السطحية Specific Surface أكبر. وتؤثر النعومة على العناصر التالية :

- نسبة التفاعل الكيميائي : كلما كان الإسمنت ناعماً كلما كان أسرع للتفاعل مع ماء الخلط. وإذا كانت الحبيبات خشنة فإن عملية التفاعل الكيميائي لا تتم بشكل كاف.
- تطور المقاومة : تكون عملية التصلد للإسمنت الناعم أسرع منها في الإسمنت الخشن. وتمكن النعومة العالية من الحصول على مقاومة مبكرة أكبر.
- كمية الإسمنت الضرورية لتغليف حبيبات الركام : فكلما كانت حبيبات الإسمنت ناعمة كلما أمكنها تغطية حبيبات الركام من حصى ورمل.

وتعين النعومة في المواصفات القياسية عن طريق تحديد المساحة السطحية النوعية للإسمنت باستخدام جهاز بلين (انظر تفاصيل شرح جهاز بلين في الجزء العملي "اختبار نعومة الإسمنت").

وتشترط المواصفات السعودية حداً أدنى لنعومة الإسمنت مقداره (٢٢٥٠) سم^{٢}/جم.

ويمكن تقسيم نعومة الإسمنت إلى ثلاثة أنواع :

- إسمنت خشن : رقم بلين أقل من ٢٨٠٠ سم^{٢}/جم.
- إسمنت ناعم : رقم بلين أكبر من ٤٠٠٠ سم^{٢}/جم.
- إسمنت ناعم جداً : رقم بلين من ٥٠٠٠ إلى ٧٠٠٠ سم^{٢}/جم.

- الكثافة Density :

يتراوح الوزن النوعي للإسمنت البورتلاندي من ٣ إلى ٣,٢ جم/سم^{٣}. ويحدد باستخدام البكنوميتر.

أما الوزن الحجمي للإسمنت البورتلاندي فيتراوح بين ٠,٩ و١,٣ جم/سم^{٣}. وهذه الخاصية لها علاقة وثيقة بنعومة الإسمنت.

- القوام القياسي Normal Consistency :

الغرض منه هو تحديد نسبة الماء المثالية (الماء/الإسمنت) للحصول على عجينة قياسية باستعمال جهاز فيكات Vicat المحمل بالإسطوانة (انظر تفاصيل شرح جهاز فيكات في الجزء العملي "اختبار تحديد القوام القياسي لعجينة الإسمنت"). وتتراوح م/س للإسمنت البورتلاندي العادي بين ٠,٢٥ و ٠,٣.

- زمن الشك Setting Time :

عند خلط الإسمنت بالماء، يتم الحصول على عجينة تقل لدونتها تدريجياً مع الوقت. وبعد مدة يظهر نوع من التماسك الأولي في العجينة الإسمنتية ويسمى هذا الوقت الشك الابتدائي Initial Setting Time.

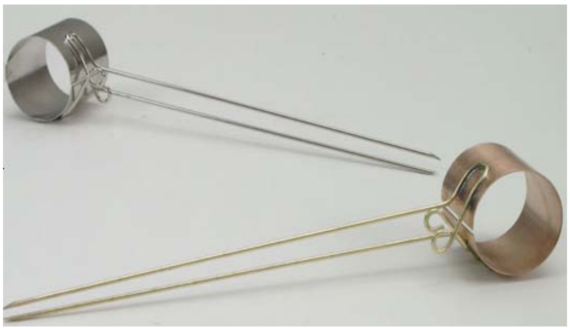
وعندما تبدأ العجينة في تصلبها لتحمل وزناً معيناً تكون قد وصلت إلى الشك النهائي Final Setting Time. وهذا الوقت المنقضي بين بداية خلط الإسمنت مع الماء والشك الابتدائي هو ما يسمى بزمن الشك، وهو مهم جداً لعملية تشغيل الخرسانة (خلطها ونقلها وصبها وهزها وتشطيبها).

وهناك عدة عوامل تؤثر على زمن الشك أبرزها نوع الإسمنت (التركيب الكيميائي) ونعومته وكمية الماء ودرجة الحرارة ونسبة المواد المضافة (مبطئات أو معجلات الشك). ويتم تحديده على عجينة قياسية في درجة حرارة محددة وباستعمال جهاز فيكات المحمل بالإبرة. وحسب المواصفات السعودية، فانه يجب ألا يقل الشك الابتدائي عن ٤٥ دقيقة و ألا يزيد الشك النهائي عن ١٠ ساعات.

- ثبات الحجم Soundness :

يقصد بثبات حجم الإسمنت عدم زيادة حجمه بعد تصلبه. فزيادة الحجم تسبب تشرخ وتفتت الإسمنت المتصلب، وتنتج من تواجد بعض المركبات بالإسمنت مثل الجير الحر CaO (غير المتحد) وزيادة كمية المغنسيوم وزيادة كمية الجبس.

وحسب المواصفات السعودية، فإن اختبار الثبات يجرى بواسطة جهاز لوشاتليه LeChatelier.



شكل٧ : جهاز لوشاتليه المكون من قالب وإبرتين

ويعتبر الاختبار بسيطا حيث يملأ القالب بعجينة إسمنتية قياسية ويغطى بلوحين من الزجاج. ثم يترك لمدة ٢٤ ساعة في ماء حرارته ٢٠ْ، ثم يرفع وتقاس المسافة بين طرفي مؤشري القالب م١. ثم يوضع القالب في ماء في حالة غليان لمدة ساعة. وبعد ذلك تقاس مرة ثانية المسافة بين طرفي مؤشري القالب م٢. ثم يحسب الفرق بين القياسين (م٢– م١)، فيكون ذلك معبراً عن تمدد الإسمنت. وتنص المواصفات على ألا يزيد هذا التمدد عن ١٠ مم.

٢-٤-٣- الخواص الميكانيكية :

تعتبر مقاومة الإسمنت للضغط هي الخاصية الهامة في استخداماته، أما مقاومة الشد له فهي بسيطة وليست بذات أهمية. ومقاومة الإسمنت الصافي أكبر من مقاومته إذا خلط بالرمل. وتزداد المقاومة في العمر الأول (حوالي ٧ أيام) بشكل واضح وكبير، ويقل معدل الزيادة بعد ذلك مع مرور الزمن تدريجياً لانخفاض درجة التفاعل. وقد يستغرق الأمر عدة سنوات حتى تستكمل التفاعلات وتتحقق المقاومة النهائية، إلا أن الزيادة في المقاومة بعد ٢٨ يوماً تكون عادة محدودة وتعتبر المقاومة المتحققة في هذا الوقت كافية لتقاوم الخرسانة الأحمال الواقعة عليها. ولهذا اختارت المواصفات العالمية هذا الزمن (٢٨ يوماً) معيارا لجودة الخرسانة، وإن كانت بعض المواصفات تسعى مع تطور صناعة الخرسانة لاختيار أوقات مبكرة مثل (٣ و ٧ و ١٤ يوماً) وخاصة في الطقس الحار كما هو الحال في المملكة.

ويجب أن لا يقل متوسط مقاومة الضغط لأنصاف المنشورات (مقاس المنشور : ٤٠×٤٠×١٦٠ مم) عن الحد الأدنى للمتوسط المطلوب في المواصفات السعودية كما هو مبين في الجدول (٤) :

الجدول (٤) : مقاومة الضغط المطلوبة لكل نوع من الإسمنت (م ق س)

نوع الإسمنت	متوسط مقاومة الضغط (ن/مم^2)		
	٣ أيام	٧ أيام	٢٨ يوم
١- إسمنت بورتلاندي عادي	١٥	٢٣	٣٥
٢- إسمنت متوسط المقاومة للكبريتات	١٠	١٧	٢٢
٣ - إسمنت سريع التصلد	٢١	٢٨	٣٥
٤ - إسمنت منخفض الحرارة	-	-	-
٥- إسمنت عالي المقاومة للكبريتات	٨	١٥	٢٠

وبجانب تأثير النعومة على عملية التصلد، فإن درجة الحرارة والرطوبة لهما دور كبير في التأثير على تطور المقاومة مع الزمن. ولذلك فإنه لا يمكن التوصل إلى مقاومة جيدة إلا بالمعالجة في ظروف رطبة مستمرة. أما إذا تعرضت الخرسانة إلى هواء حار وجاف فإن ذلك يؤدي إلى الحصول على مقاومة أقل بكثير من تلك التي يتحصل عليها بالمعالجة الرطبة.

وتحدد مقاومة الضغط في اختبار موضح في الجزء العملي من هذه الحقيبة.

٢-٥- تخزين الإسمنت :

يخزن الإسمنت في مخازن مغلقة، مانعة لتسرب الماء، ذات تهوية بشكل جيد لمنعه من امتصاص الرطوبة.

ويخزن الإسمنت السائب داخل صوامع Silos منفصلة لكل نوع صومعة. ويكون السطح الداخلي للصوامع ناعماً، ويكون قعرها مائلاً بما لا يقل عن ٥٠ درجة عن المستوى الأفقي للصوامع الدائرية وميل يتراوح بين ٥٥ و ٦٠ درجة للصوامع المستطيلة.

ويفضل تخزين أكياس الإسمنت في مجموعات على ألواح خشبية أو معدنية لضمان حسن التهوية. ولا يزيد ارتفاع رصة الأكياس عن ١٤ صفاً عند تخزينها لمدة لا تزيد عن ٦٠ يوماً. أما إذا زادت مدة التخزين عن ذلك، فلا يزيد ارتفاع رصة أكياس الإسمنت عن ٧ صفوف. وعند استعمال الإسمنت المعبأ داخل الأكياس، فيراعى قدر الإمكان استعمال الإسمنت الأقدم أولاً.

٢-٦- ضبط الجودة :

٢-٦-١- اختبارات القبول :

تختبر جميع الشحنات الآتية من مصدر يختلف عن مصدر الشحنات السابقة المختبرة وذلك قبل توريدها إلى الموقع، وتسمي اختبارات القبول. و تشمل الاختبارات التالية :

النعومة (جهاز بلين)، زمن الشك (جهاز فيكات)، ثبات الحجم (جهاز لوشاتليه)، مقاومة الضغط، معامل التشبع بالجير والتحليل الكيميائي (المواد المتبقية غير القابلة للذوبان، أكسيد المغنسيوم، الكبريت الكلي والفقد بالحرق).

٢-٦-٢- الاختبارات الدورية :

إذا لم يتغير مصدر الشحنة، فيتم إجراء الاختبارات الدورية لكل ١٠٠٠ طن مورد إلى الموقع. كما يتم إجراء الاختبارات الدورية على الإسمنت الذي مضي على تخزينه أكثر من ٣ أشهر وذلك قبل استعماله. وتشمل الاختبارات الدورية اختبارات النعومة وزمن الشك ومقاومة الضغط.

٢-٧- أسئلة وتمارين :

١- ما أهم مراحل صناعة الإسمنت ؟
٢- ما المواد الأولية التي تستعمل في صناعة الإسمنت وحدد نسبها ؟
٣- ما المواد الأساسية الأربعة المكونة لكلنكر الإسمنت ؟
٤- ما أنواع الإسمنت البورتلاندى حسب م.ق.س ؟ اذكر أهم الاستعمالات لكل نوع من الإسمنت
٥- ما تأثير نعومة الحبيبات على خواص الإسمنت ؟
٦- ما أنواع الإسمنت حسب نعومته على طريقة بلين ؟
٧- اشرح معنى زمن الشك و بين مدى أهميته للإسمنت مذكراً بحدود الشك الابتدائي و النهائي حسب م ق س

٨- قمنا بتجارب على عينتين من الإسمنت (كل عينة تمثل منتج شركة)، حيث تم صنع ٣ منشورات (٤٠×٤٠×١٦٠ مم) من كل عينة. ثم تمت تجربة الضغط عند ٢٨ يوماً على أنصاف المنشورات، فكانت النتائج التالية :

الإسمنت	رقم العينة	الحمل الأقصى للضغط (كن)	متوسط مقاومة الضغط (ن/مم^2)
١	١	٦٤	
	٢	٦٣	
	٣	٦٢	
٢	١	٥٩	
	٢	٥٨	
	٣	٦٠	

- احسب متوسط مقاومة الضغط لكل نوع من الإسمنت ؟
- هل هذه الأنواع من الإسمنت مطابقة للمواصفات السعودية ؟

٩- كيف يقع تخزين الإسمنت السائب والمعبأ في أكياس ؟ وما الاحتياطات الواجب اتخاذها في عملية التخزين ؟

١٠- ما الاختبارات المطلوبة لضبط جودة الإسمنت ؟

خواص واختبارات المواد

ماء الخلط والمواد المضافة

الجدارة:

معرفة المياه المستعملة والمحظورة في عملية خلط الخرسانة، والتعرف على مختلف أنواع المواد المضافة.

الأهداف:

عند الانتهاء من دراسة هذه الوحدة يكون للمتدرب القدرة بأذن الله على :

- معرفة أنواع المياه المستعملة في عملية خلط الخرسانة.
- معرفة أهم الخواص للماء المستعمل في خلط الخرسانة.
- معرفة كيفية تحديد مدى صلاحية الماء للخلط، واستبعاد المياه المشبوهة والمحظورة.
- معرفة أنواع المواد المضافة وطريقة استعمالها.

مستوى الأداء المطلوب:

أن يعرف المتدرب كيف يختار نوع الماء المناسب لخلط الخرسانة، ونوع المادة المضافة وذلك حسب متطلبات المشروع والمواصفات.

الوقت المتوقع للتدريب:

ساعتين للجزء النظري و ساعتين للتدريبات العملية.

الوسائل المساعدة:

- وسائل عرض.
- الأدوات والمعدات المناسبة لعمل الاختبارات.
- ملابس خاصة بالمختبر.
- ملحق الاختبارات والتجارب المعملية.

متطلبات الجدارة:

معرفة عامة بمصادر المياه الطبيعية والصناعية الموجودة وكيفية اقتناء واستعمال المواد المضافة.

٣- ماء الخلط والمواد المضافة
Mixing Water and the Admixtures

٣-١- وظيفة ماء الخلط :

يمثل ماء الخلط أحد العناصر الهامة والأساسية في الخرسانة حيث يقوم بالوظائف الرئيسية التالية :

١) يعمل على إماهة الإسمنت Hydration وتفاعله مكوناً عجينة الإسمنت التي تعتبر المادة الفعالة في الخرسانة والتي تعمل على تماسك حبيبات الركام.

٢) يعمل على بلل الركام بحيث يمتصه ليكون الالتصاق بينه وبين الإسمنت جيداً.

٣) إعطاء الخليط المؤلف من الركام الناعم والخشن والإسمنت درجة مناسبة من الليونة تساعده على التشغيل والتشكيل.

ويؤخذ ماء الخلط في العادة على هيئة نسبة بين الماء والإسمنت (م/س). لذا فإن كمية الماء اللازمة للتفاعل الكيميائي مع الإسمنت تتراوح بين ٠,٢٥ إلى ٠,٣٠ من وزن الإسمنت. وإذا استعملت تلك الكمية فإنها تعطي خرسانة طازجة جافة جداً وبالتالي تكون صعبة التشغيل، فلذلك يلزم إضافة كمية ماء أخرى (أو إضافة ملدنات) لتسهيل عملية الخلط والصب والدمك، على أن تكون بأقل كمية ممكنة نظراً لأن زيادة الماء في الخلطة الخرسانية تؤدى إلى ضعف مقاومتها للأحمال.

٣-٢- خواص ماء الخلط :

حسب المواصفات القياسية السعودية، يجب أن يكون الماء المستعمل في إنتاج الخرسانة نظيفاً، وخالياً من المواد الضارة مثل الزيوت والأحماض والقلويات والمواد العضوية. ويعتبر الماء الصالح للشرب (الذي لا طعم له ولا رائحة ولا لون) مناسباً لخلط الخرسانة. وفي حالة عدم توفره فيمكن استعمال ماء لا يتعدى محتوى الأملاح فيه عن :

٢٠٠٠ جزء في المليون	مواد صلبة مذابة
١٠٠٠ جزء في المليون	كربونات قلوية
١٠٠٠ جزء في المليون	كلوريدات
٣٠٠٠ جزء في المليون	كبريتات
٦٠٠ جزء في المليون	قلويات
٤ بحد أدنى	الأس الهيدروجيني pH

والأس الهيدروجيني (أو الرقم الهيدروجيني) هو دلالة عن حمضية المحلول أو قلويته. وهذا الرقم يبدأ من ١ وينتهي عند ١٤. حيث أن الوسط الحمضي يبدأ من الرقم ١ ويتدرج حتى الرقم ٧. حيث أن الرقم ١ يعني وسطاً شديد الحموضة ثم تنقل تدريجياً حتى تصل إلى الوسط المتعادل عند رقم ٧. ثم تبدأ القلوية من ٧ إلى ١٤ حيث تزيد القلوية تدريجياً حتى تصل أقصى قلوية عند الرقم ١٤.

و تجدر الملاحظة أن هذه المواد تؤدي إلى تأثيرات ضارة بالخرسانة عند تجاوزها هذه النسب في ماء الخلط. فالكلوريدات تسبب صدأ حديد التسليح، والكبريتات تسبب تمددات داخلية كبيرة ومن ثم تشقق وتفتت الخرسانة، والقلويات تعجل الشك وتحدث تفاعل مع الركام ينتج عنه زيادة في حجم الخرسانة فتتشرخ وتتفتت.

٣-٣- المواد المضافة The Admixtures :

٣-٣-١- تعريف المواد المضافة :

هي مواد تضاف إلى ماء الخلط أو الخرسانة مباشرة قبل أو أثناء عملية الخلط بغرض إعطاء الخرسانة الطازجة أو المتصلدة خواصاً معينة مطلوبة مثل التعجيل أو الإبطاء من زمن الشك، أو بغرض تحسين التشغيل أو المقاومة أو الحصول على خرسانة غير منفذة للماء.

وتباع هذه المواد على شكل سوائل أو مساحيق أو مواد ذات حبيبات. وتضاف إلى الخرسانة بنسب ضعيفة (غالبا ٠,٠٠٥ إلى ٢ ٪ من وزن الإسمنت). كما يجب مراعاة التأثيرات الجانبية التي يمكن حدوثها بالنسبة للخواص الأخرى خلاف تلك التي يقصد تحسينها باستعمال الإضافات.

٣-٣-٢- أنواع المواد المضافة :

من أهم المواد المضافة الشائع استعمالها في صناعة الخرسانة ما يلي :

١) إضافات لتحسين قابلية التشغيل :

إذا قلت كمية الماء فان قابلية التشغيل تنخفض ويصبح خلط وصب الخرسانة صعباً مع زيادة في مقاومتها. فإذا أضيف الماء تتحسن قابلية التشغيل للخرسانة مع انخفاض في مقاومتها. ولتحقيق مقاومة مرتفعة مع تشغيلية جيدة في ذات الوقت فإنه يمكن استعمال مواد ملينة ومساعدة على انسياب الخرسانة أو مواد محسنة لقابلية التشغيل Plasticizers.

٢) مواد مضافة لخفض نسبة الماء في الخلطة Water Reducing Agent :

هي مواد مضافة تمكن من الحصول على خرسانة ذات قوام معين بكمية من ماء الخلط أقل من الكميات اللازمة في الحالة العادية (أي بدون استخدام هذه المواد) مما يؤدي إلى تحسين مقاومة الخرسانة. وتسمي هذه المواد بالملدنات عالية الفاعلية Super plasticizers لإمكانية الحصول على لزوجة عالية ومقاومة مرتفعة بكمية ماء أقل.

٣) إضافات لتبطئ زمن الشك Retarders :

تعمل هذه المواد على تأخير زمن الشك للخرسانة، وتستعمل عند صب الخرسانة في الأجواء الحارة عندما يكون الشك الابتدائي للإسمنت سريعاً جداً، أو عندما يكون زمن الشك العادي للإسمنت غير كاف للقيام بجميع الأعمال المطلوبة، ابتداء من الخلط إلى مرحلة صب الخرسانة. كما تستعمل عند صب كميات كبيرة من الخرسانة بسماكة مرتفعة (الخرسانة الكتلية).

ويشترط في هذه المواد أن يبدأ زمن الشك في الخرسانة بعد ساعة على الأقل وبحد أقصى ثلاث ساعات ونصف. وأن لا يكون زمن الشك النهائي بعد أكثر من ثلاث ساعات ونصف من زمن شك الخلطة المماثلة دون استعمال هذه المواد. ويجب أن لا تقل مقاومة الخرسانة للضغط عن ٩٠ ٪ من مقاومتها المقارنة.

٤) إضافات لتعجيل الشك والتصلد Accelerators :

تقوم المواد المضافة للإسراع بزمن الشك بتقصير هذا الأخير. وتستخدم في الأجواء الباردة لإزالة تأثير إبطاء الشك في درجات الحرارة المنخفضة وما يترتب عليه من آثار ضارة.

وتساعد الإضافات المعجلة بالتصلد على الحصول على مقاومة مبكرة عالية. وتستخدم في إزالة الشدات مبكراً، أو الإسراع في استخدام المنشأ، أو في تقليل فترة معالجة الخرسانة.

ويمنع استعمال الإضافات التي تحتوي على كلوريدات في الخرسانة المسلحة وخصوصاً سابقة الإجهاد لضررها الكبير بحديد التسليح.

٥) إضافات الهواء المحبوس Air Entraining Agents :

هي مواد تضاف للمونة أو للخرسانة أثناء خلطها وتسبب إدخال الهواء المحبوس في شكل فقاعات صغيرة. وتحسن كثيراً من خواص الخرسانة الطازجة والمتصلدة باستخدام هذه المادة الإضافية خاصة فيما يتعلق بتشغيل وصب ودمك الخرسانة الجافة (نسبة الماء إلى الإسمنت منخفضة جداً)، وفي مقاومة الجليد وتأثير الكيمياويات أثناء فترة الصقيع، بالإضافة إلى الزيادة في ديمومة الخرسانة مع الزمن.

٦) إضافات منع نفاذية الماء Waterproofing Agents :

هذه الإضافات تمنع نسبياً نفاذية الماء داخل كتل الخرسانة. وتتقسم إلى قسمين :

- الإضافات الطاردة للماء Water Repellent Admixtures : والغرض منها منع الخرسانة من امتصاص ماء المطر أو المياه السطحية الملامسة.
- المواد المالئة للفراغات Pores Filler Materials : وتتضمن المواد الفعالة كيميائياً (مثل سيليكات البوتاسيوم وسيليكات الصوديوم) والتي تكون بتفاعلها مع الإسمنت جيلاتينا يملأ الفراغات داخل الخرسانة. وتشمل أيضاً المواد الخاملة (مواد ناعمة جداً) التي تسد الفراغات أو تقلل من حجمها.

٧) مواد مضافة أخرى مثل :

- المواد البوزولانية Pozzolanic Admixtures
- الرماد المتطاير Fly Ash
- السيليكا Silicate Fume
- إضافات مساعدة على ضخ الخرسانة Pumping Aids
- إضافات مولدة للغازات
- إضافات مساعدة على التماسك Bonding Agents
- خضاب التلوين Pigments

٣-٤- أسئلة وتمارين :

١- ما وظائف ماء الخلط المستعمل في الخرسانة ؟

٢- ما خواص الماء المستعمل في خلط الخرسانة ؟

٣- ما تأثير المواد المضافة على خواص الخرسانة الطازجة والمتصلدة ؟

٤- اذكر أهم المواد المضافة مع شرح موجز لدورها ؟

٥- ما المواد المضافة الممكن استعمالها في الحالات التالية :

- الإسراع في أعمال البناء.
- صب الخرسانة في طقس حار.
- نقل الخرسانة إلى أماكن بعيدة لصبها.
- صب الخرسانة في طقس بارد.
- تسهيل عملية ضخ الخرسانة في مواسير بارتفاع عال.

خواص واختبارات المواد

الـخـرسـانـة

الجدارة:

معرفة مكونات وخواص الخرسانة، ومعرفة مدى تأثير الخرسانة الطازجة ومكوناتها على خواص الخرسانة المتصلدة وذلك بهدف الحصول على خرسانة قادرة على التعمير أطول فترة ممكنة مع مقاومة الأحمال الخارجية وتأثير الأملاح المختلفة لها.

الأهداف:

عند الانتهاء من دراسة هذه الوحدة يكون للمتدرب القدرة بأذن الله على :

- معرفة خواص الخرسانة الطازجة والمتصلدة.
- معرفة العناصر المؤثرة في مقاومة الخرسانة.
- إجراء الاختبارات المعملية المطلوبة على الخرسانة ومطابقتها بالمواصفات.
- الفحص ومطابقة الأعمال المنفذة بالمواصفات المطلوبة.

مستوى الأداء المطلوب:

التعرف على كيفية مراقبة جودة الخرسانة بالموقع حسب متطلبات المشروع، والمقدرة على تحديد خواص هذه الخرسانة عملياً، والحكم على جودتها عند استلامها من مورد الخرسانة الجاهزة.

الوقت المتوقع للتدريب:

٤ ساعات للجزء النظري و ٨ ساعات للتدريبات العملية.

الوسائل المساعدة:

- وسائل عرض.
- الأدوات والمعدات المناسبة لعمل الاختبارات.
- ملابس خاصة بالمعمل.
- ملحق الاختبارات والتجارب المعملية.
- زيارة ميدانية إلى أحد مصانع الخرسانة الجاهزة بالمنطقة.

متطلبات الجدارة:

معرفة ما سبق دراسته في الوحدات الأولى والثانية والثالثة حول الركام والإسمنت وماء الخلط والمواد المضافة.

٤- الخرسانة The Concrete

٤-١- مقدمة :

الخرسانة هي خليط بنسب معينة من الإسمنت والماء والركام الناعم والخشن. ويمكن أن يضاف إلى هذا الخليط (بنسب بسيطة) مواد مضافة لتحسين بعض خواص الخرسانة الطازجة والمتصلدة.

وتوجد عدة طرق لتصميم الخلطات الخرسانية تهدف إلى تحديد نسب المواد المكونة للخلطة الخرسانية للوصول إلى خواص جيدة ومقبولة للخرسانة في حالتيها الطازجة والمتصلدة.

٤-٢- خواص الخرسانة الطازجة : Properties of Fresh Concrete

٤-٢-١- قوام الخرسانة Consistency :

يقصد بقوام الخرسانة الطازجة درجة تبللها ، ويعبر عن السيولة النسبية للخرسانة. كما انه يبين النسبة بين كمية ماء الخلط وكمية المواد الجافة بالخرسانة.

ويمكن تعيين قوام الخرسانة بإحدى الاختبارات التالية :

١) اختبار الهبوط Slump Test :

الغرض من هذا الاختبار هو تحديد قوام الخلطة الخرسانية بتعيين مدى هبوطها بعد تشكيلها على هيئة مخروط ناقص. ويستعمل هذا الاختبار بشكل واسع في المعامل والمواقع. (تفاصيل إجراء هذا الاختبار موجودة في الجزء العملي).

وتحدث ثلاثة أشكال مختلفة لحالة الهبوط : هبوط حقيقي True slump أو هبوط قص shear slump أو انهيار collapse slump.

وتعبر القيمة المقاسة للهبوط عن درجة قوام الخرسانة الطازجة كما يوضحها الجدول رقم (٥) :

الجدول (٥) : قوام الخرسانة حسب اختبار الهبوط

الهبوط (مم)	٠ - ٢٠	١٠ - ٤٠	٣٠- ١٢٠	١٠٠ - ٢٠٠	١٨٠ - ٢٢٠
قوام الخرسانة	جاف dry	صلب stiff	لدن plastic	مبتل wet	رخو sloppy

٢) اختبار الانسياب Flow Test :

يختص هذا الاختبار بتعيين النسبة المئوية لانسياب الخرسانة، وذلك بإجراء اهتزاز ترددي لمخروط ناقص من الخرسانة موضوع على لوح معدني وتسجيل مدى انسياب الخرسانة كنسبة مئوية من القطر الأصلي لقاعدة المخروط. ويعتبر اختبار الانسياب اختباراً معملياً في معظم الحالات نظراً لعدم سهولة تواجد الجهاز في موقع العمل.

ويمثل الجدول رقم (٦) النسب المئوية للانسياب عند درجات القوام المختلفة.

الجدول (٦) : قوام الخرسانة حسب اختبار الانسياب

الإنسياب (%)	٠ ـ ٢٠	١٥ ـ ٦٠	٥٠ ـ ١٠٠	٩٠ ـ ١٢٠	١١٠ ـ ١٥٠
قوام الخرسانة	جاف dry	صلب stiff	لدن plastic	مبتل wet	رخو sloppy

يتكون الجهاز أساساً من ثقل على شكل نصف كرة نصف قطرها ١٥ سم ووزنها ١٣,٦ كجم يتصل بها يد عليها مقياس مدرج. وينزلق الثقل من فتحة داخل إطار. ويمكن وضع هذا الإطار على سطح الخرسانة المراد قياس قوامها.

٣) اختبار كرة الاختراق (كيلي) Ball Penetration Test

يعبر مقدار الاختراق داخل الخرسانة عن قوام الخلطة الخرسانية، والجدول رقم (٧) يوضح مقدار الاختراق مع قوام الخرسانة.

الجدول (٧) : قوام الخرسانة حسب اختبار الاختراق

الإختراق (مم)	٠ ـ ٢٠	٢٠ ـ ٤٠	٤٠ ـ ٨٠	٨٠ ـ ١٠٠	١٠٠ ـ ١٢٠
قوام الخرسانة	جاف dry	صلب stiff	لدن plastic	مبتل wet	رخو sloppy

٤-٢-٢- قابلية التشغيل Workability :

القابلية للتشغيل هي خاصية الخرسانة الطازجة التي تبين السهولة التي يمكن بها صب ومناولة الخلطة الخرسانية، كما تبين درجة تجانسها ومقاومتها للانفصال الحبيبي.

وتقاس خاصية القابلية للتشغيل للخرسانة بالاختبارات التالية :

١) اختبار عامل الدمك Compacting Factor Test :

هذا الاختبار مبني على أساس أن الجهد اللازم لدمك الخرسانة يعبر عن مدى القابلية للتشغيل، ويستنتج معامل الدمك من العلاقة :

$$\text{معامل الدمك} = \frac{\text{وزن الخرسانة المدموكة جزئياً}}{\text{وزن الخرسانة المدموكة كلياً}} \qquad (١-٤)$$

ويعد اختبار عامل الدمك اختبارا معمليا وغير مناسب لموقع العمل. وتستخدم هذه الطريقة لقياس قابلية التشغيل لجميع الخلطات الخرسانية ما عدا الخلطات منخفضة القابلية للتشغيل والخلطات الخشنة (مقاس اعتبار الركام الأكبر أقل من ٣٨ مم) لتعذر الحصول على نتائج دقيقة لهذه الخلطات.
وبمعرفة معامل الدمك يمكن تحديد القابلية للتشغيل كما في الجدول رقم (٨).

الجدول (٨) : تشغيلية الخرسانة حسب اختبار معامل الدمك

درجة التشغيلية	منخفضة جدا	منخفضة	متوسطة	عالية
معامل الدمك	٠,٧٨	٠,٨٥	٠,٩٢	٠,٩٥
الهبوط (مم)	٠ - ٢٥	٢٥ - ٥٠	٥٠ - ١٠٠	١٠٠ - ١٧٥

٢) اختبار فيبي Vebe Test :
يعد هذا الاختبار تعديلاً لاختبار إعادة التشكيل Remoulding Test وله تقريباً نفس مكوناته (بحيث ألغيت الاسطوانة الداخلية به) ويتم الدمك بالهز بدلاً من الرج.

٤-٢-٣- محتوى الفراغات الهوائية Air Content :
تؤثر نسبة الفراغات في الخرسانة الطازجة بعد دمكها على خواص الخرسانة بعد تصلدها. فكلما زادت الفراغات في الخرسانة زاد تسرب المياه خلالها وضعفت مقاومتها للضغط.
ويستعمل لذلك جهاز لقياس نسبة الهواء عن طريق الضغط (بالاعتماد على قانون بويل Boyle للغازات المثالية. وعموماً يجب ألا تزيد نسبة الفراغات في الخرسانة الطازجة عن ٧ ٪.

٤-٢-٤- نزوح الماء أو النضح Bleeding
يميل الماء في الخلطات الخرسانية الطازجة إلى الارتفاع إلى السطح. ويحدث هذا نتيجة عدم قدرة مواد الخرسانة على الحفاظ على ماء الخلط المنتشر خلال الخرسانة. ونتيجة لذلك يصبح الجزء الأعلى من

الكتلة الخرسانية أكثر رطوبة، مما يجعله أكثر مسامية وضعيفاً. ويلزم إجادة تصميم الخلطة الخرسانية لمنع نزح الماء منها بعدم استخدام كميات مياه أكثر من اللازم واللجوء إلى مواد مضافة.

٤-٢-٥- الانفصال الحبيبي Segregation :

وهو انفصال بين الحبيبات الخشنة التي تنزل إلى أسفل والحبيبات الناعمة التي تطفو على السطح. ولا بد من العمل على عدم حصول الانفصال الحبيبي لما له من سلبيات كبيرة على خواص الخرسانة وديمومتها. وينتج هذا الانفصال في بعض الخلطات الفقيرة بالإسمنت والجافة جداً. كما يحدث كذلك في الخلطات المبتلة كثيراً.

كما يمكن تقليل احتمال حصول انفصال حبيبي باتباع الطرق السليمة في مناولة وخلط ونقل وصب ودمك الخرسانة.

٤-٣- خواص الخرسانة المتصلدة Properties of Hardened Concrete :

٤-٣-١- مقاومة الضغط Compressive Strength :

إن مقاومة الضغط هي أهم خواص الخرسانة المتصلدة على الإطلاق. وهي تعبر عن درجة جودتها وصلاحيتها. ومقاومة الضغط هي المقاومة الأم للخرسانة حيث ان معظم الخواص والمقاومات الأخرى مثل الشد والانحناء والقص والتماسك مع حديد التسليح تتحسن وتزيد بزيادة مقاومة الضغط والعكس صحيح.

وحسب المواصفات السعودية فإن المكعبات ذات الأبعاد ١٥٠ × ١٥٠ × ١٥٠ مم هي المقياس الأساسي لاختبارات ضبط جودة الخرسانة ومدى تحملها لإجهاد الضغط للأغراض التسويقية والتصميمية والعامة. وتستخدم المكعبات ذات الأبعاد ١٠٠ × ١٠٠ × ١٠٠ مم وكذا ٢٠٠ × ٢٠٠ × ٢٠٠ مم لأغراض الأبحاث المعملية. كما تستخدم الأسطوانات ذات الأبعاد ١٥٠ مم قطر × ٣٠٠ مم ارتفاع لأغراض الأبحاث أو في حالة الضرورة التصميمية فقط.

وتوضع العينات بعد فك القوالب في أحواض المعالجة حيث تكون درجة حرارة المياه (٢٧° ± ٢°) ويراعى تجديد المياه كل ١٥ يوماً على الأقل للتخلص من زيوت منع الالتصاق العالقة بالعينات.

ويتم حفظ المكعبات في أحواض المعالجة حتى موعد اختبارها. والأعمار المطلوبة في المواصفات عامة والمواصفات السعودية خاصة هي : ٣ و ٧ و ٢٨ يوماً. كما يمكن، إذا اقتضى الأمر، القيام باختبارات الضغط في مواعيد أخرى مثل : ١٤ و ٢١ يوماً أو بعد ٣ و ٦ و ٩ و ١٢ شهراً.

وتحسب مقاومة الضغط للعينة (ض) بالنيوتن على المليمتر المربع بالمعادلة التالية :

$$ض = \frac{ح}{م} \qquad (٤-٢)$$

حيث إن : "ح" هو الحمل الأقصى عند الانهيار بالنيوتن و"م" هي مساحة سطح التحمل لعينة الاختبار بالمليمتر المربع.

٤-٣-٢- مقاومة الشد Tensile Strength :

من المعروف أن الخرسانة العادية (بدون تسليح) لا تقاوم قوى الشد المباشر حيث إن مقاومتها للشد صغيرة بالنسبة لمقاومتها للضغط وذلك لطبيعة قصافتها. ومع ذلك فإن للشد أهمية يجب أخذها في الاعتبار لأن حدوث التشققات ما هو إلا نتيجة لضعف أو لعدم مقاومة الخرسانة للشد. وتحدث معظم التشققات نتيجة الانكماش بالجفاف. وتتراوح مقاومة الخرسانة للشد بين ٧ و ١٠ ٪ من مقاومة الضغط.

وتنقسم طرق إجراء اختبار الشد للخرسانة إلى قسمين :

١) طريقة اختبار الشد المباشر Direct Tensile Test : يكون كسر العينة ناتجاً من تأثير الشد المؤثر من ماكينة الاختبار مباشرة على العينة. ونادراً ما تجرى اختبارات الشد المباشر لصعوبة تثبيت عينات الاختبار بين كلابات الماكينة ولتولد اجهادات ثانوية على عينة الاختبار والتي تؤثر تأثيراً مباشراً على نتيجة الاختبار. ولذلك فإنه يتم اللجوء إلى طرق غير مباشرة لقياس مقاومة الشد.



الشكل٨ : عينة الخرسانة لاختبار الشد المباشر

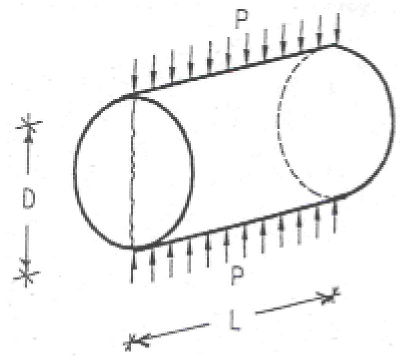
٢) طريقة اختبار الشد غير المباشر Indirect Tensile Test : أكثر الطرق المستخدمة هي الطريقة البرازيلية حيث تكون العينة في شكل اسطوانة قطرها ١٥ سم وطولها ٣٠ سم كما في الشكل (٩). توضع عينة الاختبار بين رأسي ماكينة الاختبار في وضع أفقي وعلى جانبيها شريحتين من

الخشب بعرض ٢ سم وبتحديد حمل الضغط المسبب لكسر العينة وعند انهيارها يسجل الحمل الأقصى.

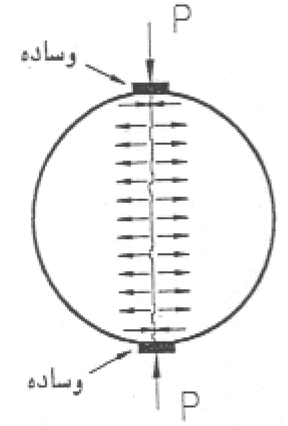
$$\text{مقاومة الشد غير المباشر} = \frac{\text{الحمل الأقصى}}{\text{محيط الاسطوانة} \times \text{طولها}} = \frac{٢ \times \text{ح}}{\text{ط} \times \text{نق} \times \text{ل}} \quad (٤-٣)$$

حيث إن :

ح : الحمل الأقصى (ن)، نق : نصف قطر الاسطوانة (مم)، ل : طول العينة (مم)، ط= ٣,١٤



الشكل٩ : اسطوانة الشد البرازيلي



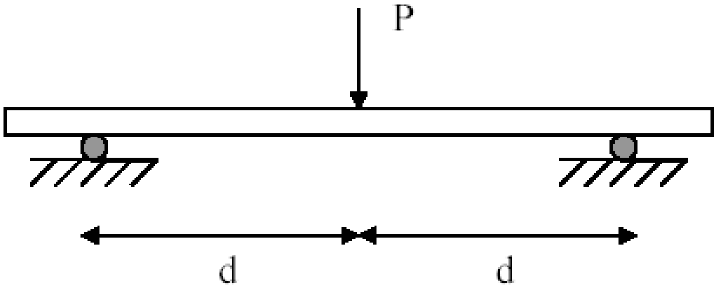
الشكل١٠ : توزيع الإجهادات في عينة الشد البرازيلي

٤-٣-٣- مقاومة الانحناء Flexural Strength :

هي مقاومة الشد بسبب الانحناء. وتتولد هذه الإجهادات دائماً. في الخرسانة المسلحة نتيجة التحميل في اتجاه عمودي على محور العنصر الخرساني. ومثال ذلك تحميل البلاطات على الكمرات وما تسببه من أحمال عمودية على طول محور الكمرة. وتعد الخرسانة أيضاً ضعيفة في تحمل تلك الإجهادات. وتتراوح مقاومة الانحناء بين ١٢ و ٢٥ ٪ من مقاومة الضغط. وتزيد عن مقاومة الشد للخرسانة بنسبة ٦٠ إلى ١٠٠ ٪.

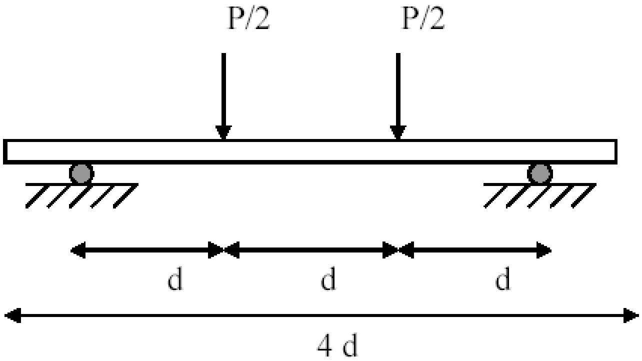
تحسب مقاومة الانحناء عملياً في المختبر بتكسير كمرات بسيطة في شكل منشورات (١٥٠ × ١٥٠ × ٦٠٠ مم أو ١٠٠ × ١٠٠ × ٤٠٠ مم) على ركيزتين محملة بإحدى الطريقتين :

- ♦ حمل واحد مركز في منتصف الكمرة (الشكل١١)، ولا يعطي هذا الاختبار انحناء خالصاً بل انحناء مصحوباً بتأثير القص.



الشكل١١ : اختبار الانحناء عند تحميل الكمرة عند نقطة واحدة

♦ حملين على مسافات متوازية من الركائز (الشكل١٢)، وتكون الكمرة معرضة هنا إلى عزم انحناء خالص pure bending دون تواجد قص.



الشكل١٢ : اختبار الانحناء عند تحميل الكمرة عند نقطتين

لذلك تكون مقاومة الانحناء عند التحميل في نقطة واحدة أقل مما تكون فيه في حالة التحميل في نقطتين.

٤-٣-٤- مقاومة القص Shear Strength :

تكون مقاومة الخرسانة للقص في حدود ١٠ إلى ١٢ ٪ من مقاومة الضغط. وهي أكبر من مقاومتها للشد بحوالي ٢٠ إلى ٣٠ ٪. ونظراً لضعف الخرسانة لإجهادات القص يوضع حديد تسليح لتحمل تلك الإجهادات التي تزيد قرب الركائز للكمرات، مما يسبب زيادة التسليح المقاوم للقص قرب الركائز.

٤-٣-٥- مقاومة التماسك بين الخرسانة وحديد التسليح Strength Bond :

مقاومة التماسك هي مقاومة الخرسانة للانزلاق بين أسياخ التسليح الملتصقة بالخرسانة المحيطة بها تحت تأثير الأحمال المؤثرة على المنشأ الخرساني. وتنشأ مقاومة التماسك من الالتصاق Adhesion بين الخرسانة وحديد التسليح، ثم من الاحتكاك بين سطحي السيخ والخرسانة Friction، وكذلك من التحميل على النتوءات البارزة في الأسياخ Bearing. وتتراوح مقاومة التماسك من ٢,٥ إلى ٤,٥ ن/مم^{٢}

للخرسانة ذات المقاومة العادية (٢٥ ن/مم^{2}). وتوجد اختبارات عديدة لمقاومة التماسك، أكثرها شيوعا اختبار التماسك بطريقة الاقتلاع Pull Out Test حيث يعرض السيخ إلى حمل شد وذلك لإحداث انهيار التماسك بينه وبين الخرسانة.

$$\text{مقاومة التماسك} = \frac{ح}{ط\ ق\ ل} \qquad (٤-٤)$$

حيث "ح" الحمل المسبب للانزلاق، "ق" قطر السيخ و" ل" طول السيخ المدفون في الخرسانة.
ويعبر "ط ق ل" عن مساحة السيخ المتماسكة مع الخرسانة قبل التحميل.

٤-٣-٦- نفاذية الخرسانة Concrete Permeability :

النفاذية هي الخاصية التي بواسطتها يمكن تسرب أي سائل خلال الخرسانة. والنفاذية خاصية هامة في الخرسانة يجب تلافيها قدر الإمكان خصوصاً في المنشآت المائية مثل الصهاريج والخزانات والسدود والمواسير وقواعد الكباري وأرصفة الموانئ وأسقف الحمامات. ومن المعروف أنه كلما زادت كثافة الخرسانة كلما قلت نفاذيتها، لأن زيادة الكثافة تدل على قلة وجود الفراغات الداخلية وقلة الممرات الشعرية.

وفي اختبار النفاذية يتم حساب معامل النفاذية للخرسانة خلال زمن نفاذ الماء في العينة بحسب القانون التالي :

$$ك = \frac{ي\ ل}{س\ ت\ ع} \qquad (٤-٥)$$

حيث : ك : معامل النفاذية للخرسانة (سم/ثانية)

ي : كمية الماء التي تنفذ خلال الخرسانة (سم^{3})

س : مساحة المقطع المعرض للضغط (سم^{2})

ت : زمن نفاذ الماء (ثانية)

$\frac{ع}{ل}$: نسبة ارتفاع كمية من الماء إلى الطول الذي ينفذ الماء خلاله

("ل" طول العينة و"ع" ارتفاع الضاغط).

ويقدر معامل النفاذية للخرسانة بحوالي ٠,٠٠٢ إلى ٠,٠٠٣ سم/ثانية.

٤-٤- العناصر المؤثرة في مقاومة الخرسانة :

إن العناصر المؤثرة في مقاومة الخرسانة عديدة أهمها :

١) مكونات الخرسانة :

- الإسمنت : التركيبة الكيميائية، النعومة ... إلخ.
- الركام الناعم والخشن : متانة الحجارة الأم و الشكل والمقاس و حالة سطح الركام و التدرج الحبيبي و نسبة الركام إلى الإسمنت ... إلخ.
- الماء : التركيبة الكيميائية و نسبة الماء إلى الإسمنت ... إلخ.
- المواد المضافة : النسبة، التفاعلات الكيميائية ... إلخ.

٢) ظروف التجربة :

- شكل ومقاسات العينة
- نسبة الرطوبة في العينة
- حرارة العينة وحرارة المعالجة
- طريقة التحميل للتجربة

٣) المعالجة :

- الوقت والزمن
- الحرارة
- الرطوبة

٤) طريقة التحضير :

- مكونات الخلطة
- طريقة الخلط
- الدمك والهز
- طريقة الوضع أو الصب

٤-٥- أسئلة وتمارين :

١- ما خواص الخرسانة الطازجة ؟

٢- ما خواص الخرسانة المتصلبة وأهم الاختبارات المستعملة لقياسها ؟

٣- تم صنع مكعبات مقاس (١٥٠×١٥٠×١٥٠ مم) من الخرسانة. وبعد ٢٨ يوم تم كسر هذه العينات من خلال تجربة ضغط، وتحصلنا على النتائج المرفقة في الجدول التالي :

رقم العينة	وزن العينة (جم)	الوزن الحجمي (جم/سم^3)	حمل الكسر (كن)	مقاومة الضغط (ن/مم^2)
١	٨٢٥٥		٨١٤	
٢	٨٣٠١		٨٤٥	
٣	٨٢٨٢		٨٢٢	

- احسب متوسط الوزن الحجمي لهذه الخرسانة ؟
- احسب متوسط مقاومة الضغط لهذه الخرسانة ؟

٤- تم صنع اسطوانات من الخرسانة (قطرها ١٥ سم وارتفاعها ٣٠ سم) لاختبارات الشد المباشر وأخرى لاختبارات الشد غير المباشر بالطريقة البرازيلية. وبعد ٢٨ تم كسر هذه العينات، وتحصلنا على النتائج المرفقة في الجدول التالي :

رقم العينة	حمل الكسر (شد مباشر) (كن)	مقاومة الشد (شد مباشر) (ن/مم^2)	حمل الكسر (شد غيرمباشر) (كن)	مقاومة الشد (شد غيرمباشر) (ن/مم^2)
١	٥٧		١٧٠	
٢	٦١		١٧٦	
٣	٥٨		١٧٢	

- احسب متوسط مقاومة الشد لهذه الخرسانة بالطريقة المباشرة ؟
- احسب متوسط مقاومة الشد لهذه الخرسانة بالطريقة غير المباشرة (الطريقة البرازيلية) ؟
- قارن بين مقاومة الضغط (التمرين السابق) ومقاومة الشد للخرسانة ؟

خواص واختبارات المواد

تقنية الخرسانة

الجدارة:

معرفة مختلف المراحل لصناعة الخرسانة.

الأهداف:

عند الانتهاء من دراسة هذه الوحدة يكون للمتدرب القدرة بأذن الله على:

- معرفة طرق خلط الخرسانة.
- معرفة طرق نقل الخرسانة.
- معرفة طرق صب الخرسانة.
- معرفة طرق دمك الخرسانة.
- معرفة طرق تشطيب الخرسانة
- معرفة طرق معالجة الخرسانة.

مستوى الأداء المطلوب:

التعرف على مراحل صناعة الخرسانة من الخلط إلى المعالجة حتى تكتمل الصورة لدى المتدرب من حيث الحصول على الجودة المطلوبة للخرسانة في الموقع.

الوقت المتوقع للتدريب:

ساعتان نظريتان .

الوسائل المساعدة:

- وسائل عرض.
- زيارات ميدانية إن أمكن.

متطلبات الجدارة:

معرفة ما وقع دراسته في الوحدات السابقة

٥- تقنية صناعة الخرسانة Concrete Technology

٥-١- خلط الخرسانة :

تهدف عملية الخلط إلى تغطية حبيبات الركام بعجينة الإسمنت والحصول على خليط متجانس. وتتم عملية الخلط يدوياً إذا كانت الكمية بسيطة، وفي أغلب الأحيان ميكانيكاً باستعمال خلاطات ذات عبوة واحدة أو خلاطات مستمرة كما في الشكلين (١٣) و (١٤) على التوالي. ويتراوح زمن الخلط من دقيقة واحدة إلى حوالي ٣ دقائق بحسب حجم الخلاط وحجم الخرسانة داخل الخلاط.



الشكل١٣ : خلاط ذو عبوة واحدة



الشكل١٤ : خلاط مستمر

٥-٢- نقل الخرسانة :

توجد عدة طرق لنقل الخرسانة من الخلاط إلى مكان الصب. واختيار الطريقة يعتمد على كمية الخرسانة ومسافة النقل. ويمكن اللجوء إلى أحد وسائل النقل التالية : عربات الخلط (الشكل١٥)، الروافع والأوعية (الشكل ١٦)، السيور الناقلة و المضخات. ويجب حفظ الخرسانة أثناء النقل من أشعة الشمس والرياح واجتناب الانفصال الحبيبي.



الشكل١٥ : عربة خلط ونقل للخرسانة



الشكل١٦ : دنبرDumper لنقل وصب الخرسانة

٥-٣- صب الخرسانة :

يجب قبل صب الخرسانة أخذ مجموعة من الاحتياطات منها رش الأسطح الملامسة للخرسانة بالماء لاجتناب امتصاص ماء الخرسانة خصوصاً في الطقس الحار، وكذلك استلام جيد للشدات وحديد التسليح.

ويمكن استعمال عدة تقنيات في عملية الصب أبرزها :

١) المضخة : هي التقنية الأكثر شيوعاً الآن، حيث تدفع الخرسانة بالمكبس أو بالهواء المضغوط عبر مواسير لمسافات طويلة حتى تصل مكان الصب كما في الشكل (١٧). ويجب أن تكون للخرسانة تشغيلية جيدة لاجتناب انسداد المواسير (إذا كانت الخرسانة جافة) أو حدوث انفصال حبيبي (إذا كانت الخرسانة مبللة جداً).

٢) الأنبوب الطويل : هو أنبوب يصل إلى قاع الشدة الخرسانية ويرفع تدريجياً مع صب الخرسانة وذلك لتفادي وقوع انفصال حبيبي.

٣) المزلقة : وهو عبارة عن سطح مائل يكون بزاوية ميول مدروسة (الشكل١٨) مع وضع عارضة أمامية أو استعمال قمع لتفادي حصول انفصال حبيبي. كما يجب صب الخرسانة على طبقات لا يتجاوز سمك الطبقة ٥٠ سم حتى يكون الدمك جيداً.



الشكل١٧ : مضخة للخرسانة



الشكل١٨ : مزلقة للصب من عربة الخلط

٥-٤- دمك الخرسانة :

الهدف من عملية دمك الخرسانة هو إزالة الفراغات الهوائية وزيادة تماسك الخرسانة مع حديد التسليح. ويؤدي الدمك إلى تحسين مقاومة الخرسانة والحد من نفاذيتها.

ويمكن أن يكون الدمك يدوياً باستعمال قضبان من الخشب أو الحديد. ويفضل استعمال الدمك الميكانيكي الذي ينقسم إلى ثلاثة أنواع :

١) الهزازات الداخلية التي تحتوي على رأس هزاز ومحرك كما في الشكل (١٩). ويجب غطس الهزاز عمودياً وبسرعة داخل الخرسانة لمدة تصل إلى ٢٠ ثانية. ولا يجب استعمال الهزاز أكثر من اللازم لأن ذلك يسبب الانفصال الحبيبي للخرسانة.

٢) الهزازات الخارجية : يثبت هذا النوع من الهزازات على الشدة من الخارج وبالتالي تهتز الهزازات والشدة معاً. وبتحريك الهزاز حول الشدة يتم دمك جميع أنحاء الخرسانة ويجب اجتناب الاهتزازات الزائدة حتى لا تتلف الشدة.

٣) مناضد الهز : يثبت الهزاز أسفل المنضدة وباستعمال محرك يعطي حركة رأسية فقط للمنضدة، تنتقل الهزات إلى القوالب والخرسانة الموضوعة فوق المنضدة، كما في الشكل (٢٠).

كما يمكن إعادة الهز بعد ساعة أو ساعتين من عملية الصب مما يزيد في مقاومة الخرسانة وتماسكها مع حديد التسليح.



الشكل١٩ : هزاز داخلي للخرسانة



الشكل٢٠ : منضدة هز

٥-٥- تشطيب الخرسانة :

يكون تسلسل عملية تشطيب الخرسانة كما يلي :

١) يتم تسوية سطح الخرسانة بإزالة الخرسانة الزائدة بواسطة القدد أو آلات ميكانيكية.

٢) بعد تصلب الخرسانة يتم تهذيب سطح الخرسانة مما يؤدي إلى تكثيف سطح الخرسانة والتخلص من أي عيوب.

٣) يمكن صقل الخرسانة بعد ذلك للحصول على سطح ناعم وكثيف.

والشكلان (٢١) و (٢٢) يوضحان نماذج من الآلات المستخدمة في تهذيب الخرسانة.



الشكل٢١ : آلة لتهذيب الخرسانة



الشكل٢٢ : تهذيب سطح الخرسانة باستعمال آلة التهذيب

٥-٦- معالجة الخرسانة :

الهدف من المعالجة هو وقاية الخرسانة من الجفاف المبكر. وتعتبر درجة الحرارة ورطوبة الهواء وسرعة الرياح من أهم العوامل المؤثرة على تبخر الماء. ويمكن تقسيم طرق المعالجة إلى قسمين :

١) طريقة إضافة الماء باستمرار :

- طريقة الغمر بالماء : وتستعمل إذا كانت الأسطح أفقية.
- طريقة نثر الماء : وذلك بجعل طبقة رقيقة من الماء بشكل مستمر على سطح الخرسانة باستعمال شبكات من الناثرات أو الرشاشات.
- طريقة الأغطية المبللة : وتستعمل خيشا يتم تبليلها باستمرار (مرتين إلى ثلاثة مرات في اليوم). ويمكن استعمال التراب أو الرمل المشبع بالماء.

٢) طريقة تغطية سطح الخرسانة لمنع فقدان الماء :

- الورق غير النفاذ : وهو ورق مقوى على شكل لفات يوضع بمجرد تصلب الخرسانة بعد تبليلها. ويستحسن استعمال ورق أبيض لعكس أشعة الشمس في الصيف وورق أسود لامتصاص الحرارة في الشتاء.
- الألواح البلاستيكية : وهي أكثر استعمالاً لأنها سهلة الالتواء والمرونة لتغطية الأشكال المعقدة. ويجب التأكد من عدم وجود ثقوب بالألواح لتفادي تبخر الماء من الخرسانة. ويستحسن كذلك استعمال ألواح بيضاء لعكس أشعة الشمس في الصيف وألواح سوداء لامتصاص الحرارة في الشتاء.
- المركبات الكيميائية : وهي سوائل تتكون من مادة صمغية أو شمع أو مطاط اصطناعي ترش على سطح الخرسانة بعد تهذيبه. وبعد تبخر السائل يتكون غشاء غير نافذ للماء فوق سطح الخرسانة ويعيق تبخر الرطوبة من الخرسانة. وتوجد مركبات شفافة وأخرى ملونة بالأبيض للمناطق الحارة أو ملونة بالأسود للمناطق الباردة.

وتدوم فترة المعالجة ٧ أيام لمعظم المنشآت الخرسانية (في حال استعمال الإسمنت البورتلاندي العادي) وتنخفض إلى ثلاثة أيام عند استعمال الإسمنت سريع التصلد ، وترتفع إلى ١٤ يوما عند استعمال إسمنت منخفض الحرارة.

٥-٧- أسئلة وتمارين :

١- ما الغرض من خلط الخرسانة الطازجة ؟
٢- اذكر طرق النقل المختلفة للخرسانة والمشاكل التي يمكن أن تتعرض لها الخرسانة أثناء عملية النقل
٣- ما أهم الطرق المستعملة لصب الخرسانة في الموقع ؟
٤- اشرح أهمية عملية دمك الخرسانة
٥- ما أنواع الهزازات الميكانيكية مع ذكر طريقة استعمال كل واحد منهم ؟
٦- ما أهم مراحل تشطيب الخرسانة ؟
٧- ما الهدف من عملية معالجة الخرسانة ؟
٨- عدد مع الشرح الموجز طرق معالجة الخرسانة والمواد المستعملة لهذا الغرض ؟

خواص واختبارات المواد

الطوب والبلك

الجدارة:

معرفة أنواع الطوب الطفلي وخواصه وطرق تصنيعه.

معرفة أنواع الطوب والبلك الخرساني وخواصه وطرق تصنيعه.

الأهداف:

عند الانتهاء من دراسة هذه الوحدة يكون للمتدرب القدرة بأذن الله على :

- معرفة أنواع الطوب الطفلي واستعمالاته.
- معرفة خواص الطوب الطفلي.
- معرفة أنواع الطوب الخرساني واستعمالاته.
- معرفة خواص الطوب الخرساني.

مستوى الأداء المطلوب:

التعرف على أنواع وخواص الطوب الطفلي والخرساني واستعمالاته وكيفية استلام الطوب في الموقع.

الوقت المتوقع للتدريب:

ساعتان نظريتان و ساعتان للتطبيقات العملية.

الوسائل المساعدة:

- وسائل عرض.
- الأدوات والمعدات المناسبة لعمل الاختبارات.
- ملابس خاصة بالمعمل.
- ملحق الاختبارات والتجارب المعملية.

متطلبات الجدارة:

معرفة ما تمت دراسته في الوحدات الأولي والثانية والثالثة والرابعة.

٦- الطـــوب والبلك Bricks and Blocks

الطوب الطفلي هو عبارة عن قوالب ذات أبعاد معينة يستعمل لعمل حوائط وعمل واجهات المباني. وتتمثل المواد المستعملة في صناعة الطوب في الطين والرمل.

٦-١- المواد الخام للطوب الطفلي :

الطين هو عبارة سيليكات الألومينا المائية ويحتوي على شوائب مثل أكسيد الحديد وأكسيد الكالسيوم وأكسيد المغنسيوم والقلويات وبعض المواد العضوية. ويحتوي الطين الجيد والصالح للاستعمال في صناعة الطوب على المواد الكيميائية التالية :

- سيليكا : ٤٠ – ٦٠ ٪ - ألومينا : ١٠ – ٢٥ ٪.
- أكسيد الحديد : (٤ – ٨ ٪) - الجير : (١ – ١٥ ٪) - أكسيد المغنسيوم :(٠ – ٤ ٪).
- القلويات : وتكون هذه المجموعة حوالي ٢٠ ٪ من الطين وتعمل كعناصر مساعدة للانصهار.
- ماء.
- ثاني أكسيد الكربون وثالث أكسيد الكبريت : وهي موجودة بنسبة قليلة جداً.

٦-٢- صناعة الطوب الطفلي :

تمر صناعة الطوب بالمراحل التالية :

٦-٢-١- تجهيز المواد الخام Clay preparation :

بعد إحضار المواد الخام الأولية يتم تفتيت الجزئيات الطينية وطحنها ثم يخلط الطين جيداً لجعله متجانساً، ويجب إعطاء الطين أثناء الخلط اللدونة المطلوبة بإضافة الماء اللازم لذلك أو بإضافة مواد غير لدنة مثل الرمل، لتقليل انكماش الطوب أثناء الصناعة.

٦-٢-٢- تشكيل الطين Moulding :

ويتم باستعمال إحدى الطرق التالية :

- الطريقة النصف جافة Semi-dry process : حيث تكون نسبة الرطوبة حوالي ١٠ ٪. ويتم تشكيل الطين في قوالب لتعطي مقاسات الطوبة المطلوبة بواسطة ماكينات أوتوماتيكية مع استعمال ضغط عال.
- الطريقة اللدنة Plastic process : حيث تكون نسبة الرطوبة حوالي ١٥ ٪.

- طريقة قطع السلك The wire-cut process : حيث تكون نسبة الرطوبة حوالي ٢٠ ٪. ويتم تشكيل الطوب المفرغ بهذه الطريقة.

٦-٢-٣- عملية التجفيف Drying :

بعد عملية التجفيف تحتوي الطوبة على حوالي ٧- ٣٠ ٪ ماء حيث يتم إخراج الماء خلال عملية التجفيف في الأفران الخاصة. وتدوم عملية التجفيف ٢٤- ٤٨ ساعة عند درجة حرارة تصل إلى ١٥٠°.

٦-٢-٤- عملية الحرق Firing :

يتم الحرق في أفران مستمرة وهي عبارة عن نفق (مبطن بالطوب الحراري) تمر العربة المحملة بالطوب خلاله وتتدرج درجة الحرارة فيه وتزداد بالارتفاع وسط الفرن (تصل درجة الحرارة ما بين ٨٠٠° و ٩٠٠°) وتستمر العربة بالحركة إلى أن تخرج حيث تنخفض الحرارة تدريجياً حتى المخرج.

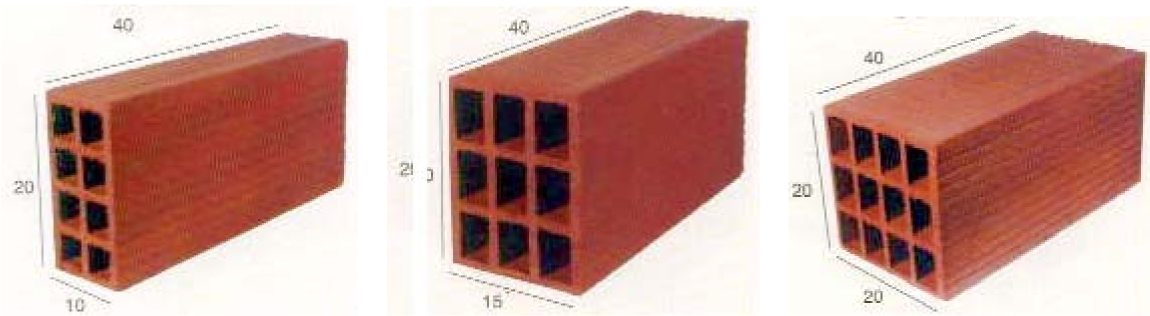
٦-٣- أنواع الطوب الطفلي :

١) الطوب الأحمر العادي Common red bricks :

يستعمل هذا الطوب في أعمال البناء، ويشمل طوب ضرب السفرة وطوب قطع السلك Wire-cut والطوب المضغوط. ويغطي هذا الطوب بعد استعماله في الحوائط بطبقة من المونة الإسمنتية.

٢) الطوب الأحمر المفرغ Perforated red bricks :

يصنع هذا الطوب بطريقة طوب ضرب السفرة وقطع السلك ويستعمل ليملأ الفراغات فقط. وهو يتميز بخفة وزنه وحسن عزله للحرارة والصوت، لذلك يستعمل في عمل الحوائط الداخلية، ومقاومته للضغط لا تقل عن ٣٥ كجم/سم^{٢}، والشكل (٢٣) يوضح الطوب الأحمر المفرغ بمقاسات مختلفة.

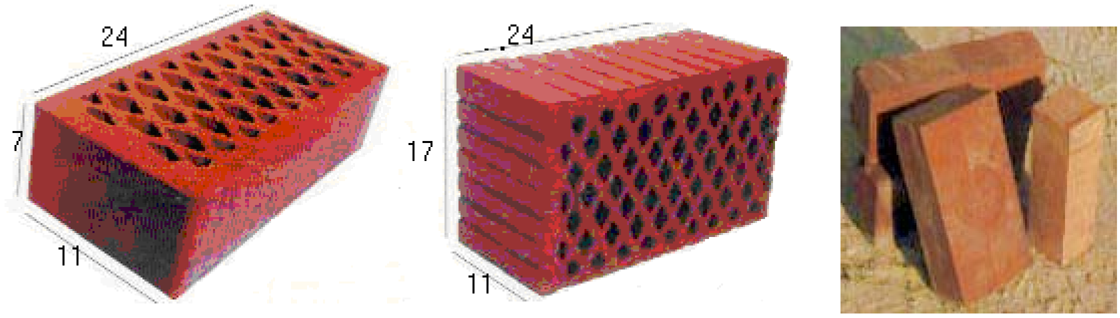


الشكل٢٣ : طوب أحمر مفرغ بسماكات مختلفة

٣) طوب تكسية الواجهات Facing bricks :

يستعمل هذا النوع في الواجهة الخارجية للمباني لإعطاء شكل معماري جميل وله مقاومة عالية للعوامل الجوية، ولا يغطي هذا الطوب بالبياض، وأحيانا يضاف إليه ألوان لإعطاء اللون المطلوب مثل الأحمر أو

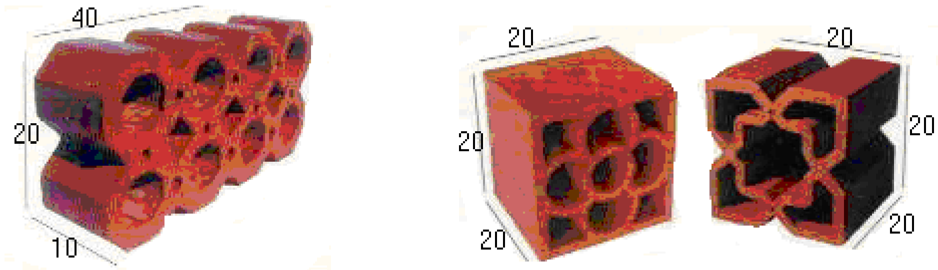
الأصفر أو الرمادي. ويجب أن تكون مقاساته منتظمة ومقاومته للضغط تتراوح بين ١٥٠ و ٢٥٠ كجم/سم^{2}، والشكل (٢٤) يوضح بعض أشكال طوب تكسية الواجهات.



الشكل(٢٤) : مجموعة من الطوب الحامل للواجهات

٤) الطوب الديكوري أو الكلوسترا Claustra :

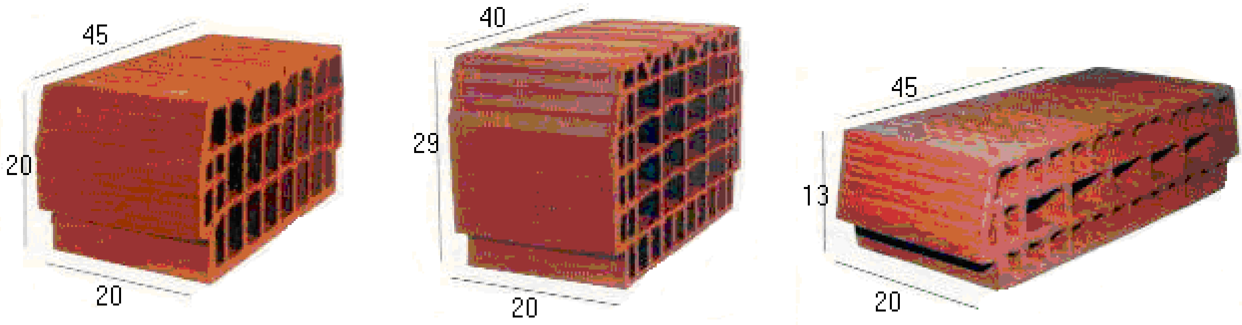
وهو طوب مفرغ بأشكال هندسية وألوان متنوعة يستعمل لأعمال الديكورات الداخلية والخارجية المختلفة، كما في الشكل (٢٥).



الشكل (٢٥) : أشكال مختلفة من الطوب الديكوري

٥) طوب هوردي Hourdi :

ويستعمل في تشييد البلاطات المفرغة، وخاصة في أسقف المباني، والشكل (٢٦) يوضح الطوب الهوردي بمقاسات مختلفة.



الشكل (٢٦): طوب هوردي بمقاسات مختلفة

٦) الطوب الحراري

يصنع هذا الطوب من الطين الناري ولذلك فهو يقاوم درجات الحرارة العالية والاحتكاك والتأثيرات الكيميائية المختلفة. ويستعمل في تبطين الأفران المستعملة في صناعة الحديد والصلب والصناعات غير الحديدية مثل النحاس والزنك والرصاص وفي صناعة الإسمنت والجير والزجاج.

٦-٤- خواص الطوب الطفلي :

١) الشكل The shape :

يجب أن يكون الطوب ذا شكل منتظم، وأن تكون زواياه وجوانبه معتدلة اعتدالاً مناسباً، وإذا وجدت به شقوق سطحية، فيجب ألا يسبب وجودها إضعافاً لخواصها. ويجب أن يكون مقطع الطوبة متجانساً كامل الحرق خاليا من الفصوص والعقد الجيرية. وألا تقل نسبة الطوب السليم الخالي من التشققات والعيوب الظاهرة عن ٩٥ ٪ من الكمية الموردة.

٢) امتصاص الماء Water Absorption :

لا يزيد مقدار الامتصاص للطوبة الواحدة في اختبار الغمر بالماء لمدة ٢٤ ساعة عن ٣٠ ٪ بالوزن، على ألا يزيد متوسط امتصاص خمس طوبات على ٢٧ ٪ بالوزن بالنسبة للطوب الأحمر العادي.

٣) مقاومة الضغط Compressive Strength :

لا تقل مقاومة الطوبة الواحدة للضغط على ٣٠ كجم/سم^{٢}، ولا يقل متوسط مقاومة خمس طوبات للضغط عن ٢٥ كجم/سم^{٢} بالنسبة للطوب الأحمر العادي.

٤) التزهير Efflorescence :

التزهير هو ظهور أملاح معدنية (غالباً جيرية) على سطح الطوب بعد تشربه للماء ثم تجفيفه. ويوصف التزهير بالدرجات التالية : المعدوم و الخفيف أو المتوسط أو الثقيل أو الثقيل جدا. ويجب أن يكون التزهير خفيفا عند إجراء اختبار التزهير على الطوب.

٦-٥- الطوب والبلك الخرساني (الإسمنتي) Concrete bricks and blocks :

يشكل الطوب الإسمنتي أهم وحدات البناء الخرسانية. وتكون هذه القطع الإنشائية مفرغة أو مصمتة، حاملة أو غير حاملة، وتستخدم لأعمال الأسقف أو الجدران.

٦-٥-١- أنواع الطوب الخرساني :

يصنف الطوب حسب طرق استعماله إلى الأنواع التالية :

١) الطوب المصمت :

وهو الطوب الذي لا يحتوي على أي فراغات أو ثقوب مشكلة به صناعياً كما في الشكل (٢٧). وقد نصت المواصفات الأمريكية بأن الطوبة المصمتة تقل نسبة الفراغات الصناعية فيها عن ٢٥ ٪. ويصنف الطوب المصمت إلى :

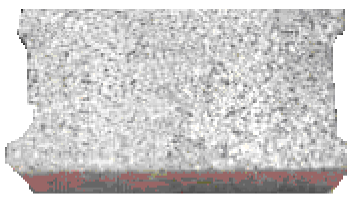
- طوب غير حامل Non-load bearing bricks : وهو طوب مصمت معد للاستعمال في الحوائط غير الحاملة.
- طوب حامل Load bearing bricks : وهو طوب مصمت معد للاستعمال في الحوائط الحاملة.

٢) الطوب المفرغ Hollow bricks :

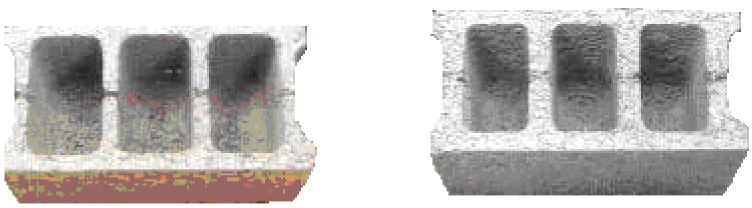
وهو الطوب الذي يحتوي على فراغات أو ثقوب مشكلة به صناعياً. وقد نصت المواصفات الأمريكية بأن الطوبة المفرغة تزيد نسبة الفراغات الصناعية فيها عن ٤٠ - ٥٠ ٪.

٣) البلوك الخرساني Concrete blocks :

البلوك أو الطوبة الكبيرة هي وحدة بناء تزيد أبعادها عن الطوب العادي (المصمت أو المفرغ) كما في الشكل (٢٨). ويصنف البلوك إلى بلوك حوائط (بنوعيه الحامل وغير الحامل) وبلوك أسقف يستعمل في البلاطات الخرسانية المسلحة.



الشكل27 : طوب مصمت خرساني



الشكل٢٨ : بلك خرساني

٤) الكلوسترا Claustra :

وهو طوب مفرغ بأشكال هندسية وألوان متنوعة يستعمل لأعمال الديكورات الداخلية والخارجية المختلفة.

٦-٥-٢- مكونات الطوب الخرساني :

يتكون الطوب الإسمنتي أو الخرساني من المواد التالية :

١) الإسمنت :

ويعد الإسمنت البورتلاندي العادي الأكثر استخداماً، ويمكن استخدام أي نوع آخر من الإسمنت.

٢) الركام :

يستعمل عادة الركام الطبيعي الناتج من كسر الأحجار الطبيعية أو حصى الوديان أو الرمل السيليسي المتدرج. ويلزم أن يكون الركام نظيفاً عند الخلط، وخالياً من المواد الضارة كالأملاح القابلة للذوبان التي تسبب التزهير أو تؤثر على تماسك الخلطة. كما يمكن استخدام الركام الصناعي في إنتاج الطوب الخرساني ومواد الخبث والرمل الخفيف.

٣) الماء :

يجب أن يكون الماء المستعمل في الخلطة الخرسانية لصناعة الطوب والمعالجة نظيفاً خالياً من الشوائب والأملاح والمواد العضوية والكلوريدات، وخالياً من الزيوت والشحوم والأحماض والقلويات والمواد الطينية، لكي لا تؤثر هذه الشوائب والمواد الضارة على جودة الطوب المنتج. ويستحب أن يكون الماء المستعمل صالحا للشرب.

٤) المواد المضافة :

يمكن استعمال مواد مضافة بنسب مقننة مثل مبطئات الشك أو المستخدمة في تحسين العملية التشغيلية أو خفض النفاذية. ويجب ألا تؤثر كمية ونوعية المواد المضافة في حالة استعمالها للتلوين أو للتحكم في زمن الشك أو التصلد أو المسامية تأثيراً ضاراً على المنتج النهائي. كما يجب مراجعة تعليمات الشركة المصنعة لهذه المواد وتحت إشراف هندسي.

٦-٥-٣- مراحل صناعة الطوب الخرساني :

تخلط مكونات الخلطة الخرسانية للطوب في خلاط آلي لضمان تجانس الخليط. ويجب أن تكون الخلطة جافة أي ذات قوام مناسب للكبس (نسبة الماء لا تزيد عن ٢٠- ٢٥ ٪). ثم يوضع الخليط في القالب ويدمك القالب ويرج جيداً، وبعدها يتم تفريغ القالب من الطوب المصنع. ويوضع الطوب في مكان

التجفيف ليجف لمدة ٢٤ ساعة على الأقل. كما يجب رش وترطيب الطوب بالماء لمدة لا تقل عن ٣ أيام (مرتين في اليوم صباحاً ومساءً). ويفضل أن تكون مدة المعالجة أسبوعاً على الأقل ليكتسب الطوب صلابته بحيث يتحمل عملية التخزين والنقل والشحن والمناولة.

٦-٥-٤- خواص الطوب الخرساني :

إن أهم المتطلبات والخصائص المطلوبة للطوب الإسمنتي حسب المواصفات المختلفة هي :

١) المظهر الخارجي :

يجب أن يكون الطوب الخرساني سليماً وخالياً من الشروخ وكسر الأطراف والعيوب الأخرى التي قد تؤثر على وضع الطوب في أماكنه وضعاً سليماً.

٢) الأبعاد والمقاسات :

يوجد مقاسات مختلفة حسب مواصفات كل بلد تهتم بالطول والعرض والارتفاع وتعطي بالمليمتر. وقد تسمح المواصفات بتفاوت في الأبعاد للطوب بمقدار محدد (مثلاً ± ٤ مم).

٣) الوزن الحجمي :

يعد الوزن الحجمي للطوب الخرساني ذا أهمية لمعرفة جودة الخرسانة. حيث تشترط بعض المواصفات بأن يصنف الطوب المصمت والمفرغ حسب هذه الخاصية (يتراوح الوزن الحجمي للطوب من ١,٧ إلى ٢ جم/سم^{٣}).

٤) نسبة الفراغات :

ويقصد بها الفراغات المشكلة صناعياً، حيث تشترط المواصفات ألا تزيد هذه الفراغات عن نسبة معينة حسب سماكة الطوب (وهي تتراوح بين ٣٧ و ٥١ ٪).

٥) امتصاص الماء Water absorption والانكماش Drying shrinkage :

يجب ألا يزيد امتصاص طوب البناء الخرساني للماء على ٢٠٪ بالوزن للطوبة الواحدة وألا يزيد متوسط مقدار الانكماش بالتجفيف على ٠,٠٦٪.

٦) مقاومة الضغط :

تشترط المواصفات بأن مقاومة الطوب للضغط والمستخدم في أعمال الجدران الحاملة لا تقل (الحد الأدنى لمتوسط مقاومة الضغط) عن ٧٥ كجم/سم^{٢}. بينما الطوب المستخدم في الجدران غير الحاملة لا تقل مقاومته للضغط عن ٣٠ كجم/سم^{٢}.

٦-٦- أسئلة وتمارين :

١- ما مراحل صناعة الطوب الطفلي ؟

٢- ما أنواع الطوب الطفلي واستعمالاته ؟

٣- ما خواص الطوب الطفلي ؟

٤- ما أنواع الطوب الخرساني واستعمالاته ؟

٥- ما خواص الطوب الخرساني ؟

خواص واختبارات المواد

الجير والجبس

الجدارة:

معرفة خواص وطرق اختبارات الجير والجبس، ومختلف أنواع الألواح الجبسية.

الأهداف:

عند الانتهاء من دراسة هذه الوحدة يكون للمتدرب القدرة بأذن الله على :

- معرفة أنواع الجير والجبس.
- معرفة خواص الجير والجبس.
- استلام عينات الجير والجبس.
- إجراء الاختبارات المعملية المطلوبة على الجير والجبس ومطابقتها بالمواصفات.
- الفحص ومطابقة الأعمال المنفذة بالمواصفات المطلوبة.

مستوى الأداء المطلوب:

أن يعرف المتدرب كيف يختار نوع الجير ونوع الجبس حسب متطلبات الموقع والمشروع، ومقدرته على التمييز بين مختلف أنواع الألواح الجبسية واستعمالاتها.

الوقت المتوقع للتدريب:

ساعتان للجزء النظري و ساعتان للتدريبات العملية.

الوسائل المساعدة:

- وسائل عرض.
- الأدوات والمعدات المناسبة لعمل الاختبارات.
- ملابس خاصة بالمختبر.
- ملحق الاختبارات والتجارب المعملية.

متطلبات الجدارة:

معرفة ما سبق دراسته في الوحدة الأولي حول الأحجار الطبيعية.

٧- الـجـيـر والـجـبـس Lime and Gypsum

ينتج الجير من عملية حرق أو تكليس الحجر الجيري (كربونات كالسيوم) عند درجة حرارة تتراوح بين ٩٥٠° و ١٠٥٠°، وذلك حسب المعادلة الكيميائية التالية :

$$\underset{100\ \%}{CaCO_3} \rightarrow \underset{56\ \%}{CaO} + \underset{44\ \%}{CO_2}$$

٧-١- أنواع الجير :

يمكن تقسيم الجير إلى نوعين :

١) جير هوائي Non-Hydraulic Lime :

وهو الجير الذي يشك ويتصلب في الهواء فقط بعيداً عن الماء، وينتج من عملية تكليس الحجر الجيري النقي.

٢) جير مائي Hydraulic Lime :

وهو الجير الذي يشك ويتصلب تحت الماء، وينتج من عملية تكليس الحجر الجيري الذي يحتوي على ٨ إلى ١٠ ٪ من الطين.

كما يمكن تقسيم الجير الهوائي أو المائي إلى نوعين:

١) جير حي Quick Lime :

وهو أكسيد الكالسيوم الناتج من عملية الحرق الكامل للحجر الجيري (كربونات الكالسيوم الطبيعي) عند درجة حرارة تتراوح بين ٩٥٠ و ١٠٥٠°.

٢) جير مطفأ Hydrated Lime :

وهو الجير الحي الذي تم إطفاؤه بإضافة الماء اللازم لذلك ليصبح على هيئة مسحوق أبيض اللون جافاً خالياً من الكتل المتماسكة.

٧-٢- صناعة الجير :

تمر عملية صناعة الجير الهوائي بالمراحل التالية :

- استخراج الحجر الجيري من المحاجر ونقله إلى المصنع.
- تحضير وتكسير ونخل المواد الخام.

- تكليس الحجر الجيري في أفران (تشبه الأفران المستعملة في صناعة الإسمنت) لطرد ثاني أكسيد الكربون.
- تبريد أكسيد الكالسيوم مع حفظه من الهواء الرطب حتى لا يفقد خواصه نتيجة امتصاصه الماء و ثاني أكسيد الكربون وتحوله إلى كربونات الكالسيوم.
- إطفاء الجير الحي بإضافة الماء إليه بكمية مناسبة (حوالي ٠٫٨٢ من وزن الجير الحي) ليتحول إلى هيدروكسيد الكالسيوم.

ويجب اجتناب لمس الجير الحي بالأيدي لضرره على الجلد بخلاف الجير المطفأ الذي ليس له تأثير ضار نسبياً.

أما عملية صناعة الجير المائي فتمر بالمراحل التالية :

- يحرق الحجر الجيري مع ٨ إلى ١٠ ٪ مواد طينية.
- عندما تصل درجة الحرارة إلى ١١٥٠°، يتحد أكسيد الكالسيوم (الناتج من الحجر الجيري) وأكاسيد السيلكون والألمنيوم و الحديد (الموجودة في الشوائب الطينية).
- يتم الحصول على كلنكر مكون من سيليكات وألومينات الكالسيوم مما يعطيه خاصية التصلب تحت الماء.
- تتم عملية إطفاء الجير المائي بوضع ناتج الفرن على شكل طبقات يقع رشها بالماء. ثم تجمع في أكوام لعدة أيام حتى يتم إطفاؤها والحصول على مسحوق ناعم.

٧-٣- استخدامات الجير :

يستعمل الجير كمونة لبناء الحوائط من الطوب أو الحجارة وكذلك في بياض الحوائط. كما يستخدم في صناعة الطوب الرملي وصناعة الحديد.

٧-٤- خواص الجير :

تتمثل الخواص الفيزيائية للجير في الآتي :

١) النعومة : لا تزيد عن ٥٪ على منخل ٠٫٢١١ مم و لا تزيد عن ١٠٪ على منخل ٠٫٠٨٩ مم.

٢) قابلية التشغيل : لا تقل عدد الصدمات عن ١٣ للجير الحي و ١٠ للجير المطفأ ليصبح قطر العجينة ١٩ سم.

٣) الثبات : لا يزيد التمدد على ١٠ مم ويستعمل لقياسه جهاز لوشاتيليه.

أما الخواص الكيميائية للجير فهي ملخصة في الجدول (٩) :

الجدول (٩) : الخواص الكيميائية للجير

الخواص	الجير الحي	الجير المطفأ
نسبة أكسيد الكالسيوم CaO	لا تقل عن ٧٠ ٪	لا تقل عن ٥٢ ٪
نسبة أكسيد الماغنسيوم MgO	لا تزيد على ٥ ٪	لا تزيد على ٤ ٪
نسبة ثاني أكسيد الكربون CO_2	لا تزيد على ٧ ٪	لا تزيد على ٥ ٪
نسبة المواد غير القابلة للذوبان وأكسيدي الحديد Fe_2O_3 والألمنيوم AL_2O_3	لا تزيد على ١٠ ٪	لا تزيد على ٨ ٪
الفقد بالحرق	لا تزيد على ٧ ٪	

٧-٥- الجبس Gypsum :

يستنتج الجبس من عملية تسخين خام الجبس الطبيعي عند درجة حرارة معينة لإزالة ماء التبلور جزئياً أو كلياً.

٧-٥-١- صناعة الجبس :

يتم تكسير وطحن خام الجبس، ثم تسخينه في أفران دوارة مثل أفران الإسمنت الدوارة المستمرة، بعد يكون تأثير الحرارة والماء على خام الجبس كالآتي :

أ- الجبس الناتج عن إزالة ماء التبلور جزئياً في درجة حرارة تتراوح بين ١٣٠ و ٢٠٠°:

$$CaSO_4{,}2H_2O \xrightarrow{130 - 200\ ^\circ C} CaSO_4{,}0.5H_2O + 1.5\ H_2O$$

ب- الجبس الناتج عن إزالة ماء التبلور كلياً في درجة حرارة تفوق ٢٠٠°:

$$CaSO_4{,}2H_2O \xrightarrow{\text{Up to } 200\ ^\circ C} CaSO_4 + 2\ H_2O$$

٧-٥-٢- أنواع الجبس :

يمكن تقسيم الجبس إلى نوعين رئيسين :

أ- الجبس الناتج عن إزالة ماء التبلور جزئياً :

١) جبس عادي :

لا تقل فيه نسبة كبريتات الكالسيوم عن ٦٠ ٪ . ويكون لونه رمادياً أو وردياً خفيفاً أو مائلاً إلى الاصفرار.

٢) جبس المصيص :

لا تقل فيه نسبة كبريتات الكالسيوم عن ٨٠ ٪ ويكون أبيض اللون ناصعاً.

٣) جبس التشكيل :

لا تقل فيه نسبة كبريتات الكالسيوم عن ٩٠ ٪ ويكون أبيض اللون ناصعاً.

ب- الجبس الناتج عن إزالة ماء التبلور كلياً :

١) جبس الأرضيات :

يصل زمن الشك إلى ساعتين.

٢) جبس التشطيب :

ينتج عن تكليس الجبس الخام المضاف إليه البوراكس عند ١٠٠٠^{o}. ويضاف إليه ١ ٪ من كبريتات البوتاسيوم والألمنيوم للإسراع بزمن الشك الذي يتراوح من ١ إلى ٤ ساعات.

٧-٥-٣- استعمالات الجبس :

يستعمل الجبس في البياض وكمادة لاحمة سريعة الشك في البناء ولأعمال الديكور.

٧-٥-٤- خواص الجبس :

أهم خواص الجبس هي:

١) درجة النعومة :

يمر الجبس (العادي والمصيص وجبس التشكيل) من منخل قياسي مقاس فتحته ١,٢٥ مم. ولا يتبقي منه على منخل قياسي مقاس فتحته ٠,١٥ مم أكثر من ٢٥٪ بالوزن للجبس العادي و ٢٠٪ لجبس المصيص و ٥٪ لجبس التشكيل.

٢) زمن الشك :

الجبس العادي : لا يقل زمن الشك عن ١٥ دقيقة للجبس متوسط الشك. ويتراوح زمن الشك من ٥ إلى ٨ دقائق للجبس سريع الشك (لا يستخدم في أعمال البياض).

جبس المصيص : لا يقل زمن الشك عن ساعة للجبس المصيص بطيء الشك ولا يقل زمن الشك عن ١٥ دقيقة للجبس المصيص متوسط الشك.

جبس التشكيل : لا يقل زمن الشك عن ١٥ دقيقة ولا يزيد عن ٤٠ دقيقة.

٣) مقاومة الانحناء :

الجبس العادي : لا يقل معامل الكسر للانحناء في الجبس العادي عن ١٠ كجم/سم^2 عند اختباره بعد ٢٤ ساعة من إضافته إلى الماء ولا يقل عن ٢٠ كجم/سم^2 بعد مرور ٧ أيام.

جبس المصيص : بعد ٢٤ ساعة لا يقل عن ١٥ كجم/سم^2. بعد ٧ أيام لا يقل عن ٣٠ كجم/سم^2.

جبس التشكيل : بعد ساعة واحدة لا يقل عن ١٥ كجم/سم^2. بعد ٧ أيام لا يقل عن ٤٠ كجم/سم^2.

٧-٥-٥- ألواح الجبس Gypsum boards :

تتكون ألواح الجبس أساساً من بودرة الجبس مضافاً إليها الماء والنشاء بنسب معينة، ويمكن أن تضاف إليه مواد أخرى لإكسابه خواص مختلفة حسب نوع الاستخدام. وتوجد الأنواع التالية لألواح الجبس :

١) ألواح الجبس العادية Regular Gypsum Board (RGB) :

هي ألواح تثبت على الأسطح المستوية، وتستعمل كحائط جاف جاهز وللأسقف الصناعية ولتلبيس الجدران من الداخل، كما في الشكل (٢٩).

٢) ألواح الجبس المقاومة للحريق Fire Resistant Board (FRB) :

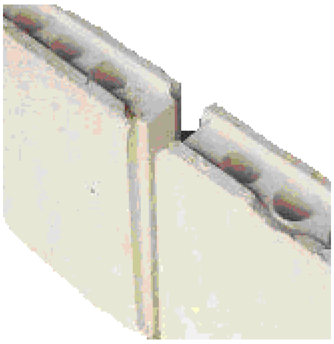
هي ألواح مقواة بمادة الفيبرجلاس لتكون مقاومة للحريق لفترة زمنية قد تصل إلى ساعتين، وتركب بنظام معين خاص بها.

٣) ألواح الجبس المقاومة للماء والرطوبة Water Resistant Board (WRB) :

هي ألواح عادية يضاف إليها مادة من مركبات السليكون لتصبح مقاومة للماء بحيث لا تزيد نسبة امتصاص الماء فيها على ١٠٪ من الوزن، على أن تكون هذه النسبة ٥٪ بالنسبة للألواح التي تستعمل في الأماكن المعرضة لرطوبة عالية مثل حمامات السباحة والمشاريع الساحلية.

٤) ألواح الجبس المقاومة للرطوبة والحريق :

هي ألواح عادية يضاف إليها مادة من مركبات السليكون والفيبرجلاس لإكسابها هذه الخواص.

الشكل٢٩ : استعمال ألواح الجبس في بناء القواطع

٧-٦- أسئلة وتمارين :

١- ما أنواع الجير واستعمالاته ؟
٢- ما خواص الجير ؟
٣- ما أنواع الجبس واستعمالاته ؟
٤- ما خواص الجبس ؟
٥- ما أنواع الألواح الجبسية واستعمالاتها ؟

خواص واختبارات المواد

المواد المعدنية

الجدارة:

معرفة خواص وطرق اختبارات المواد المعدنية، وكذلك معرفة مختلف أنواع حديد التسليح حسب المواصفات القياسية السعودية.

الأهداف:

عند الانتهاء من دراسة هذه الوحدة يكون للمتدرب القدرة على:

- معرفة خواص المواد المعدنية.
- معرفة مختلف أنواع حديد التسليح وخواصه.
- استلام عينات المواد المعدنية.
- إجراء الاختبارات المعملية المطلوبة على المواد المعدنية ومطابقتها بالمواصفات.
- الفحص ومطابقة الأعمال المنفذة بالمواصفات المطلوبة.

مستوى الأداء المطلوب:

أن يعرف المتدرب كيف يفرق بين مختلف أنواع حديد التسليح، وكيف يختار نوع المادة المعدنية حسب متطلبات ومواصفات المشروع.

الوقت المتوقع للتدريب:

٤ ساعات للجزء النظري و ٦ ساعات للتدريبات العملية.

الوسائل المساعدة:

- وسائل عرض.
- الأدوات والمعدات المناسبة لعمل الاختبارات.
- ملابس خاصة بالمختبر.
- ملحق الاختبارات والتجارب المعملية.

متطلبات الجدارة:

معرفة عامة حول المواد المعدنية.

٨- المواد المعدنية

٨-١- مقدمة :

تمتاز المواد المعدنية بخاصية المرونة والمقاومة العالية وتوصيل الحرارة والكهرباء والتشكيل وإمكانية اللحام. كما أن لها سلبيات مثل التآكل تحت تأثير الغازات والأملاح المختلفة والرطوبة، وتشوهها الكبير تحت تأثير درجات الحرارة العالية.

وتنقسم المواد المعدنية إلى قسمين رئيسيين هما :

- الحديد ومشتقاته، ويتضمن العناصر التالية : الكربون C، والمنغنيز Mn، والنيكل Ni، والكروم Cr، والتيتان Ti، ... إلخ.
- المعادن غير الحديدية مثل : الألمنيوم Al والنحاس Cu، والزنك Zn، والرصاص Pb... إلخ.

ويعد الحديد من أكثر المواد المعدنية استعمالاً في ميدان التشييد، حيث يمكن تشييد هياكل المباني الصناعية والمدنية والجسور من الصفائح والمقاطع الفولاذية. كما يتم أيضاً صناعة حديد التسليح للخرسانة وكذلك المسامير والأنابيب.

٨-٢- صناعة الحديد Steel Manufacturing :

٨-٢-١- خام الحديد :

يعد الحديد من العناصر الشائعة والمتواجدة في طبقة الأرض كمواد خام ليس بشكل أحادي وإنما متحدة مع الأوكسجين والكربون. ولأغراض صناعة الحديد تستخدم الخامات التالية : الهماتيت Hematite Fe_2O_3، والماغنيتايت Magnetite Fe_3O_4، واللمانيت Limonite $2Fe_2O_3.3H_2O$.

٨-٢-٢- صناعة حديد الصب Cast Iron :

يوضع خام الحديد وخردة الحديد مع الفحم الحجري Coke من أعلى فرن عالٍ Blast Furnace ثم يتم إضافة المواد المساعدة على الانصهار(أحجار جيرية أو دولوميتية). وفي أسفل الفرن يتم إضافة الهواء والوقود (الغاز الطبيعي أو الفيول). وبعد عملية الحرق يتم سحب حديد الصب المنصهر من أسفل الفرن ويصب في قوالب. كما يسحب الخبث Slag المتكون من أكاسيد الألمنيوم والسيلكون والكالسيوم ويتم تبريده بسرعة (يمكن استعماله في صنع الإسمنت الخبثي).

يحتوي حديد الصب (أو حديد الزهر) على الكربون وشوائب أخرى كالفسفور والكبريت والمنغنيز بنسب مرتفعة. ولحديد الصب خاصية تحمل الضغط لكنه ضعيف في الشد. ولذلك لا يستعمل في المنشآت

الخرسانية والمعدنية، لكنه يستعمل كقطع في المضخات والماتورات والآلات. وبالنظر لمقاومته للصدأ يستعمل في الأنابيب والمجاري للأغراض والأعمال الصحية والتدفئة.

٨-٢-٣- صناعة الحديد الصلب أو الفولاذ :

يتم إنتاج الحديد الصلب في أفران مفتوحة (مثل محولBessemer) أو أفران الأوكسجين أو الأفران الكهربائية التي تهيئ الحرارة بالقوس الكهربائي. ويتم الحصول على حديد الصلب الذي يحتوي على أقل من ٢ ٪ من الكربون وله خصائص القوة والمتانة.

٨-٢-٤- تشكيل الحديد الصلب Shaping of Steel :

يشكل الحديد حسب طرق المعالجة والسحب سواء كان بطريقة التسخين أو بالطريقة الباردة أو بالطريقتين معا (المزدوجة) إلى مقاطع لأغراض الاستخدام الإنشائي المختلفة.

ومن أهم المنتجات الصناعية الحديدية التي تستخدم في الأعمال الإنشائية المختلفة : الأنابيب والمواسير وحديد التسليح والأسلاك والشبابيك الحديدية والألواح والأبواب والنوافذ والخردوات والإكسسوارات (المسامير و البراغي و البراشيم...).إلخ

٨-٣- تأثير نسبة الكربون على خواص الحديد الصلب :

يعد عنصر الكربون من العناصر المهمة في صناعة الحديد حيث يمكن من خلاله التحكم في قساوة وصلابة الحديد ولكنه يؤثر في قابلية التقصف. فعندما ترتفع نسبة الكربون في الحديد تزداد نسبة السيمانتيت Cementite السريع الانكسار، وبالتالي تزداد متانة وسرعة انكسار الحديد وتنقص لدونته وقابليته للطرق. ويبين الجدول (١٠) تغير الخواص الميكانيكية للحديد بتغير نسبة الكربون.

الجدول١٠ : تأثير نسبة الكربون على مقاومة الشد والتمدد النسبي للحديد الصلب

نسبة الكربون (٪)	مقاومة الشد (ن/مم^{٢})	التمدد النسبي (٪)
٠,١	٣٦٠	٣٤
٠,٢	٤٦٠	٢٨
٠,٤	٦٥٠	٢٠
٠,٦	٨٢٠	١٤
٠,٨	٩٦٠	٩
١,٠	٩٦٠	٦

١,٢	٨٥٠	٣
١,٤	٦٣٠	٢

٨-٤- حديد التسليح :

٨-٤-١- أنواع حديد التسليح :

تصنف أسياخ الصلب المستخدمة في تسليح الخرسانة حسب المواصفات السعودية إلى الأنواع التالية :

١) أسياخ صلب عادي المقاومة مدلفنة على الساخن وتنقسم إلى ما يلي :

- أسياخ صلب عادي المقاومة ملساء (صلب مستدير المقطع وبدون نتوءات تم تبريده في الهواء بعد دلفنته على الساخن).
- أسياخ صلب عادي المقاومة ذات نتوءات (صلب مستدير المقطع شكلت نتوءاته بأشكال وأبعاد محددة أثناء الدلفنة على الساخن ثم برد في الهواء).

٢) أسياخ صلب عالي المقاومة وتنقسم إلى ما يلي :

- أسياخ صلب عالي المقاومة مدلفنة على الساخن ذات نتوءات.
- أسياخ صلب عالي المقاومة معالجة على البارد (أسياخ من الصلب تم تبريدها في الهواء بعد دلفنتها على الساخن ثم عولجت على البارد).

٨-٤-٢- خواص حديد التسليح :

١) التركيب الكيميائي :

يجب ألا تزيد النسبة المئوية لعناصر الكربون والكبريت والفسفور في الصبة كما هو موضح في الجدول (١١).

الجدول١١ : الحد الأقصى لنسبة بعض العناصر الكيميائية حسب نوع الأسياخ (حسب م ق س)

نوع الأسياخ	الحد الأقصى للنسب المسموح بها (٪)		
	كربون	كبريت	فسفور
أسياخ الصلب العادي المقاومة المدلفنة على الساخن	٠,٣٠	٠,٠٥	٠,٠٥
أسياخ الصلب العالي المقاومة المدلفنة على الساخن	٠,٣٣	٠,٠٥	٠,٠٥
أسياخ الصلب العالي المقاومة المعالجة على البارد	٠,٢٥	٠,٠٥	٠,٠٥

٢) الخواص الميكانيكية :

يجب أن تكون الخواص الميكانيكية للأسياخ كما هو موضح في الجدول رقم (١٢) :

(انظر شرح المصطلحات الواردة في الجدول ١٢ في الفقرة الموالية ٨- ٥ وفي الجزء العملي "اختبار مقاومة الشد للحديد).

الجدول١٢ : الحدود الدنيا لإجهاد الخضوع ومقاومة الشد والاستطالة (حسب م ق س)

الخاصية	أسياخ صلب مدلفنة على الساخن		أسياخ صلب
	عادي المقاومة	عالي المقاومة	معالجة على البارد
الحد الأدنى لإجهاد الخضوع (ن/مم^2)	٢٥٠	٤٦٠	٤٦٠
الحد الأدنى لمقاومة الشد (ن/مم^2)	٢٧٥	٥٠٦	٥٠٦
الحد الأدنى للاستطالة المئوية (❖)	٢٢	١٢	١٢

(❖) محسوبة على طول قياس ٥ مرات قطر السيخ

في حالة عدم وضوح نقطة الخضوع يعتبر إجهاد الخضوع هو الإجهاد المقابل لاستطالة كلية مقدارها ٠,٥٪ من طول القياس الأصلي، أو إجهاد الضمان المناظر لاستطالة ٠,٢٪.

٣) الأقطار والأوزان الاسمية :

يجب أن تكون الأقطار الاسمية ووزن المتر الطولي للأسياخ ومساحة مقاطعها الاسمية كما هو موضح بالجدول (١٣) :

الجدول١٣ : الأقطار ومساحات المقاطع والأوزان الاسمية لأسياخ حديد التسليح (حسب م ق س)

القطر الاسمي (مم)	مساحة المقطع الاسمي (سم^2)	الوزن الاسمي للمتر الطولي (كجم/م)	القطر الاسمي (مم)	مساحة المقطع الاسمي (سم^2)	الوزن الاسمي للمتر الطولي (كجم/م)
٦	٠,٢٨٣	٠,٢٢٢	٢٢	٣,٨٠	٢,٩٨
٨	٠,٥٠٣	٠,٣٩٥	٢٥	٤,٩١	٣,٨٥
١٠	٠,٧٨٥	٠,٦١٧	٢٨	٦,١٦	٤,٨٣
١٢	١,١٣	٠,٨٨٨	٣٢	٨,٠٤	٦,٣١
١٤	١,٥٤	١,٢١	٣٦	١٠,٢	٧,٩٩
١٦	٢,٠١	١,٥٨	٤٠	١٢,٦	٩,٨٧
١٨	٢,٥٤	٢,٠٠	٤٥	١٥,٩	١٢,٥

٢٠	٣,١٤	٢,٤٧	٥٠	١٩,٦	١٥,٤

القطر الاسمي : قطر الدائرة التي تساوي مساحتها المساحة الفعلية لمقطع السيخ.

المساحة الفعلية لمقطع السيخ : هي المساحة المحسوبة من وزن طول محدد لعينة من السيخ باستخدام الكثافة الاسمية.

الكثافة الاسمية : تؤخذ القيمة ٠,٠٠٧٨٥ كجم/سم^{٣} لحساب الوزن الاسمي للمتر الطولي للسيخ.

الوزن الاسمي : وزن متر طولي من السيخ محسوباً باستخدام الكثافة الاسمية ومساحة المقطع الفعلية.

٨-٥- العلاقة بين الإجهاد والانفعال :

يحسب الإجهاد والانفعال حسب العلاقات الرياضية التالية :

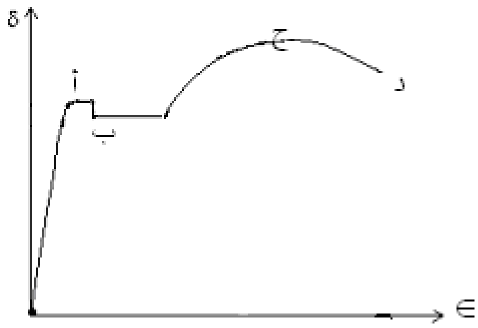
$$\text{الإجهاد } \delta = \frac{\text{الحمل المسلط على العينة (نيوتن)}}{\text{مساحة مقطع العينة (مم}^{٢}\text{)}} \quad \text{ن / مم}^{٢} \qquad (١-٨)$$

$$\text{الانفعال } \varepsilon = \frac{\text{الاستطالة (مم)}}{\text{الطول الأصلي للعينة (مم)}} \qquad (٢-٨)$$

والاستطالة هي الزيادة في طول العينة مع ارتفاع الحمل المسلط على العينة.

عند اختبار الشد فإن سلوك المعادن تأخذ الأشكال التالية :

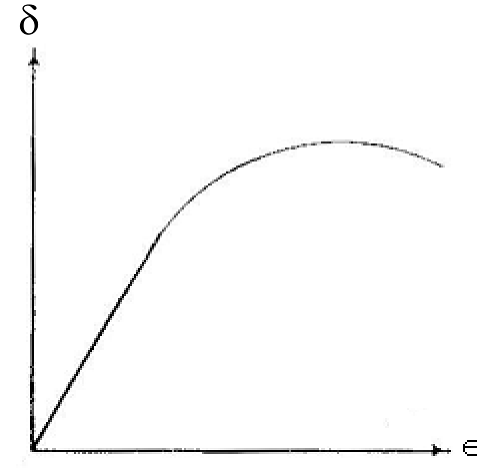
أ. للمعادن المطيلة (الصلب الطري)، (الشكل 30) :



الشكل 30 : العلاقة بين الإجهاد والانفعال للصلب الطري

- من "الصفر" حتى النقطة "أ" يأخذ المنحنى شكل مستقيم ويتناسب الإجهاد مع الاستطالة حتى النقطة "أ" التي تسمى منطقة حد المرونة للمعدن.
- من "أ" إلى "ب" يكون معدل الزيادة في الاستطالة أسرع من معدل الزيادة في الإجهاد ويسمى الحمل المناظر للنقطة "ب" حمل خضوع. كما أن الجهد المناظر لها يسمى جهد الخضوع وهذه المنطقة تعتبر "لدنة".
- عند النقطة (ب) تزداد مقاومة المعدن بعض الشيء ويتطلب الأمر أحمالاً أكبر لإحداث المزيد من الاستطالة. وحتى النقطة (ج) فإن الاستطالة في العينة تكون مصحوبة بنقص في مساحة المقطع بشكل منتظم ومتساوٍ على طول العينة.
- يسمى جهد المناظر للنقطة (ج) بالمقاومة القصوى ويلاحظ تكون الرقبة للمعدن. ومن النقطة (ج) حتى (د) يقل الحمل ويزداد النقص في المقطع عند الرقبة مع حدوث الاستطالة حتى يتم الكسر عند النقطة (د).

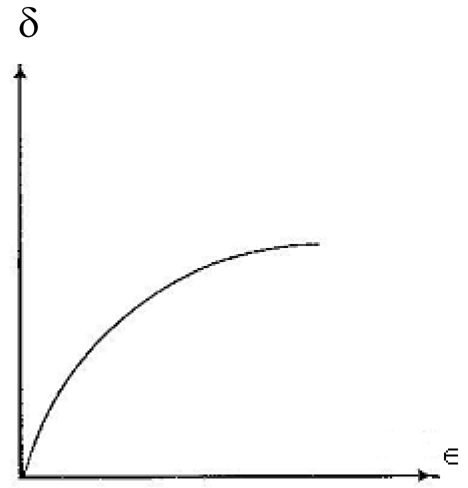
ب. المعادن نصف المطيلة (الصلب عالي المقاومة)، (الشكل 31) :



الشكل ٣١ : العلاقة بين الإجهاد والانفعال للصلب عالي المقاومة

تكون الاستطالة متناسبة مع الحمل حتى حد التناسب، وهنا لا تظهر منطقة خضوع. ويكون الحمل الأقصى أكبر منه في المعادن المطلية بينما تكون الاستطالة أقل. كما أن الرقبة تكون أقل وضوحاً، ويحدث الكسر.

ج. المعادن الهشة (حديد الزهر)، (الشكل ٣٢) :



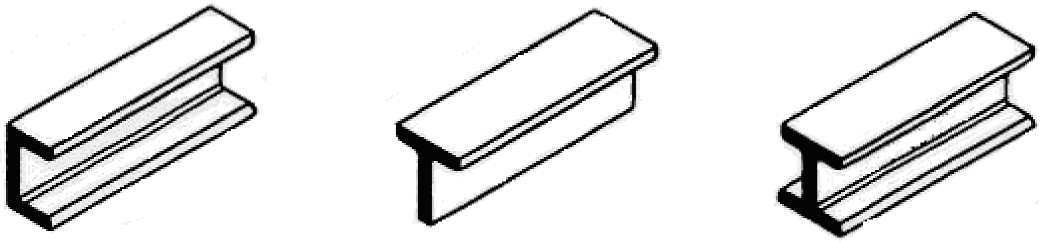
الشكل ٣٢ : العلاقة بين الإجهاد والانفعال للمعادن الهشة

لا يوجد أي تناسب بين الحمل والاستطالة كما إن الاستطالة تكون صغيرة جداً مقارنه بالمعادن المطلية. كذلك لا تظهر منطقة خضوع للمعدن ولا تتكون رقبة بل يحدث الكسر عند وصول الحمل إلى الحمل الأقصى.

٨-٦- حديد الإنشاءات المعدنية :

يعد هذا الحديد الأساس في تشييد هياكل المباني المعدنية، حيث يعمل حديد المنشآت من نوع ذي نسبة متوسطة من الكربون ويتم تصنيعه بطريقة التسخين مع اللف Hot Rolled. وأقل سمك يصنع في قطاعات هذا الحديد هو ٣ مم. وفي بعض الحالات يربط أكثر من قطاع معاً للحصول على قطاع مجمع ذات قوة أكبر في تشييد هياكل المباني. وأهم القطاعات الشائعة الاستعمال في حديد المنشآت : المواسير Tubes، و الأسياخ Bars، و الكمرة I-Beam، و المجرى C-shape channel،

و الزاوية Angle or L-shape ،والتيه T ،و الزى Zee، و اللوح Plate.



الشكل ٣٣ : بعض قطاعات إنشائية I - T - C

٨-٧- الألمنيوم :

٨-٧-١- صناعة الألمنيوم :

يستخرج الألمنيوم من خام البوكسيت Bauxite. و يتم في البداية إجراء عملية غسيل للمواد الخام ومعالجتها بالصودا للحصول على مادة الألومنيا التي تحتوي على تركيز كبير من الألمنيوم. ثم توضع الألومنيا في الفرن وتذاب في الكرايوليت Cryolite المنصهر. ثم يمرر تيار كهربائي داخل المحلول فتحدث عملية الفصل للألمونيا إلى الألمنيوم والأوكسجين. ويمكن إضافة بعض العناصر المعدنية كالمنغنيز أو النحاس أو المغنسيوم أو السليكون للحصول على تحسين القوة الميكانيكية والخواص الأخرى للألمنيوم.

وبعد تحضير سبائك الألمنيوم والكتل، يتم تشكيلها بطريقة السحب Rolling على الساخن أو البارد لإنتاج الصفائح والألواح والقضبان أو طريقة البثق Extrusion لإنتاج مقاطع وأشكال معمارية.

٨-٧-٢- استعمالات الألمنيوم :

من أهم المنتجات المصنعة لمادة الألمنيوم واستخدامها في الإنشاءات :

- مقاطع الألمنيوم : تعد مقاطع الألمنيوم الأكثر إنتاجاً واستخداماً في الأعمال الإنشائية خاصة في المباني، حيث يتم تصنيع النوافذ والأبواب والواجهات المختلفة من المقاطع ذات الأشكال المختلفة.
- الألواح والصفائح : تستخدم في أعمال الأسطح وتكسية الواجهات وأغطية المداخن.
- أسلاك الألمنيوم : تستعمل لأغراض الإنشاء ولصناعة الكابلات والأسلاك الكهربائية.
- أنابيب الألمنيوم : تستخدم في الأعمال الصحية وأعمال التدفئة وفي صناعة الثلاجات وغيرها.
- الستائر المعدنية.
- الخردوات بأنواعها وتستخدم في الأعمال الإنشائية كالمسامير والبراغي والمناخل وغيرها.

٨-٧-٣- خواص الألمنيوم :

تعد مادة الألمنيوم مادة إنشائية مهمة لما لها من خصائص تقنية عالية. ومن أهم هذه الخواص :

- المقاومة العالية والممتازة للصدأ مقارنة مع الحديد.
- مرونة عالية حيث يمكن تشكيله بتقنيات بسيطة.
- مادة قليلة المقاومة للضغط والثني مقارنة مع الحديد حيث تبلغ مقاومة الضغط للألمنيوم في حدود ٧٠- ١٠٠ ن/مم^{٢}.
- لا تقل مقاومة سبيكة الألومونيوم للشد عن ١٥٥ ن/مم^{٢}.
- لا يوجد بالألمنيوم أضرار صحية (غير سام).
- يمتلك خاصية توصيل عالية للكهرباء والحرارة.
- يمتلك كذلك خاصية انعكاس عالية لكل من الحرارة والضوء.

٨-٨- أسئلة وتمارين :

١- ما مراحل صناعة الحديد الصلب ؟

٢- ما أنواع حديد التسليح ؟

٣- ارسم منحني العلاقة بين الإجهاد والانفعال للصلب الطري واشرح بإيجاز المراحل الأربعة الموجودة في المنحني ؟

٤- أجري اختبار الشد على عينة من الصلب قطرها ١١,٢٨٧ مم وطولها ٥٠ مم حتى الكسر وكانت النتائج كالتالي :

الحمل (كن)	0	12	20	28	26	32	38	42	44	40	33
الاستطالة (مم)	0	0,03	0,05	0,07	0,5	2	4,2	8	12	16	18

- ارسم منحنى الحمل والاستطالة
- احسب المقاومة القصوى للشد (بوحدة ن/مم^{٢})
- احسب إجهاد الخضوع (بوحدة ن/مم^{٢})
- احسب معامل المرونة (بوحدة ن/مم^{٢})
- احسب النسبة المئوية للاستطالة

٥- ما أهم خواص الألمنيوم واستعمالاته ؟

خواص واختبارات المواد

المواد غير المعدنية

الجدارة:

معرفة أنواع وخواص وطرق اختبارات الأخشاب.

معرفة طرق صنع بلاستيك PVC ، خواصه واستعمالاته.

معرفة طريقة صنع الزجاج، أنواعه وخواصه.

الأهداف:

عند الانتهاء من دراسة هذه الوحدة يكون للمتدرب القدرة بأذن الله على:

- معرفة أنواع وخواص الأخشاب.
- معرفة عيوب الأخشاب وطرق حمايتها.
- معرفة خواص واستعمالات PVC في ميدان التشييد.
- معرفة أنواع وخواص الزجاج.
- إجراء الاختبارات المعملية المطلوبة على الأخشاب ومطابقتها بالمواصفات.
- الفحص ومطابقة الأعمال المنفذة بالمواصفات المطلوبة.

مستوى الأداء المطلوب:

أن يميز المتدرب بين مختلف أنواع الأخشاب وأن يلم بأهم خواص واستعمالات الخشب وPVC والزجاج في ميدان التشييد.

الوقت المتوقع للتدريب:

٤ ساعات للجزء النظري و ساعتان للتدريبات العملية.

الوسائل المساعدة:

- وسائل عرض.
- الأدوات والمعدات المناسبة لعمل الاختبارات.
- ملابس خاصة بالمعمل.
- ملحق الاختبارات والتجارب المعملية.

متطلبات الجدارة:

معرفة عامة بالأخشاب والبلاستيك والزجاج.

٩- المواد الغير معدنية

٩-١- أنواع الخشب Types of Wood :

تستخرج الأخشاب من الأشجار. ويسمى الخشب المستعمل لغرض تشييد المنشآت الخشبية بخشب البناء (Timber).

وتنقسم الأشجار المستخدمة في خشب البناء إلى نوعين رئيسيين :

أ- أشجار الأخشاب اللينة : كالأشجار الصنوبرية Coniferous Trees مثل الشوح (Pine). وهذه الأشجار ذات أخشاب لينة (Softwood). ويستعمل هذا النوع في أعمال النجارة الجافة (مثل الشدات الخشبية) لسهولة تشغيله ومقاومته للقص نظراً لمرونته. ومن أمثلة هذه الأخشاب الشائعة الاستعمال : الشوح الأبيض والأصفر والأحمر (White, Yellow and Red Pine).

ب- أشجار الأخشاب الصلبة : وهذه الأشجار ذات أخشاب صلبة (Hardwood)، وتكون كثافتها أكبر من الأخشاب اللينة لاندماج أليافها. وهي أكثر مقاومة للاحتكاك والماء والأحماض من الأخشاب اللينة. وتعتبر الأخشاب الصلبة صعبة التشغيل كما أنها تمتاز بجمال أليافها وتعريقاتها المختلفة. لذلك تستعمل في النجارة الدقيقة مثل صناعة الأبواب والشبابيك والأرضيات والسلالم وكذلك نجارة الأثاث. ومن أمثلة هذه الأخشاب الشائعة الاستعمال : خشب القرو (Oak)، و خشب الزان (Beech)، و خشب التيك (Teak)، وخشب البلوط (Ash)، و خشب الجوز (Walnut)...

٩-٢- تجفيف الخشب Seasoning :

الغرض من تجفيف الخشب هو التقليل من العصارة والماء الموجودين في الخشب الخام وليس التخلص منهما كلية. لأن التخلص تماماً من العصارة والماء في الأخشاب يجعلها ناشفة وهشة وسريعة الكسر (Brittle). وفائدة التجفيف يجعل الخشب قليل الالتواء وتغيير شكله وأقل مهاجمة للحشرات والفطريات.

فمن الأهمية تجفيف الخشب في فرن صناعي (Kiln Drying) بنسبة رطوبة معينة ومناسبة حتى لا يفقد وزنه. بعد ذلك أثناء تشغيله ويسمي الخشب في هذه الحالة خشباً مجففاً. كما أن الجفاف المناسب للخشب يعطي له مقاومة أفضل وعمراً أطول وسهولة للتشغيل والتشكيل، بجانب إعطائه أقصي قوة تحمل.

وتعتبر الأخشاب اللينة جافة (Dry) إذا وصلت كمية الرطوبة فيها بين ١٥ و ٢٢٪. أما في الأخشاب الصلبة فتعتبر جافة إذا وصلت كمية الرطوبة فيها بين ٩ و ١٥٪.

٩-٣- العيوب الطبيعية للأخشاب Natural Defects of Wood :

هناك عيوب طبيعية توجد في معظم الأخشاب، وعيوب أخرى تنشأ نتيجة ظروف نمو غير عادية.

وأهم هذه العيوب:

١) تعرج الألياف Fibers Warp :

وتكون نتيجة نمو بعض الأشجار منحنية بتقوس كبير أو نتيجة ظروف نمو شاذة تجعل الألياف تنمو بصورة متموجة أو حلزونية أو متقاطعة مع محور الشجرة. ونظراً لأن الأخشاب يتم تقطيعها في اتجاه مواز للألياف، فهذه الأشجار يصعب تصنيعها وهي غير مجزية اقتصادياً، ويجب أن تستبعد تماماً في أعمال الإنشاءات. كما أن هذه الأخشاب تكون عرضة للانبعاج عند تجفيفها.

٢) التشققات الحلقية Ring Shecks :

وهي تشققات تسبب انفصالا بين الحلقات السنوية وقد تمتد بطول الجذع. وهذه التشققات تصاحب إجهادات الشد التي تنشأ في بعض الألياف نتيجة نمو الشجرة منحنية بتقوس كبير. كما أن هذه الألياف المعرضة لشد تعرف بخشب الشد.

٣) التشققات القطرية Radial Shecks :

وهي تشققات داخلية في الاتجاه الطولي للجذع، وعمودية على الحلقات السنوية وقد تصل إلى خارج الشجرة، وتسمي في هذه الحالة شروخ شقية. وهذه التشققات تنشأ في خشب الشد بالأشجار المنحنية.

٤) العقد الخشبية Knots :

العقدة هي قاعدة فرع مدفونة في جذع الشجرة، ويتناسب حجمها مع حجم الفرع. والعقد أجزاء قوية مشبعة بالصمغ تعترض نسيج الجذع، وقد تنفصل عنه أثناء التجفيف. والعقد تشكل صعوبة في تشغيل الخشب، كما أن المواد الصمغية الموجودة بها تجعل من الصعب تغطيتها بالطلاء. ووجود العقد في بحر أي كمرة يقلل بشدة من مقاومتها للأحمال.

٩-٤- خواص الخشب :

٩-٤-١- نسبة الرطوبة Moisture content :

يتم حساب نسبة الرطوبة في الأخشاب باستعمال القانون التالي :

$$\text{نسبة الرطوبة في الخشب} = \frac{\text{وزن الخشب رطباً} - \text{وزن الخشب جافاً}}{\text{وزن الخشب جافاً}} \times ١٠٠ \% \qquad (٩-١)$$

٩-٤-٢- انكماش الخشب Wood Shrinkage :

يحدث الانكماش في الخشب عند تجفيفه. ويتم احتساب نسبة الانكماش كالتالي :

$$\text{نسبة الانكماش} = \frac{\text{التغير في الطول}}{\text{الطول الأصلي}} \times ١٠٠ \% \qquad (٩-٢)$$

ويعتبر الخشب غير متساوي الخصائص في جميع الاتجاهات (Anisotropic) مما يولد انكماشاً مختلفاً حسب الاتجاه:

- قطاع طولي : ٠,١ إلى ٠,٢ ٪
- قطاع شعاعي : ٣ إلى ٦ ٪
- قطاع مماس : ٥ إلى ١٢ ٪

أما على المستوى الحجمي (Volumetric) فهو بين ٧ و ١٨٪.

٩-٤-٣- كثافة الخشب Wood Density :

تتغير كثافة الخشب حسب نوع الأشجار. وتكون معدلات الكثافة للخشب بعد الجفاف كالتالي :

- الأخشاب اللينة : ٠,٣٢ إلى ٠,٥٢
- الأخشاب الصلبة : ٠,٣٨ إلى ٠,٦٨

٩-٤-٤- الخواص الميكانيكية للخشب :

- مقاومة الشد : يعطي الخشب أكبر مقاومة للشد في الاتجاه الطولي حيث تتراوح بين ٨٠ و ١٥٤ ن/مم^{٢} عند نسبة رطوبة بـ ١٢ ٪. أما في الاتجاه الشعاعي فتتراوح بين ١,٥ و ٦,٥ ن/مم^{٢}.
- مقاومة الضغط : تتراوح بين ٢٩,٣ و ٥٦,٣ ن/مم^{٢} في الاتجاه الطولي وبين ٢,٦ و ٨ ن/مم^{٢} في الاتجاه الشعاعي.
- مقاومة القص : : تتراوح بين ٥,٩ و ١٣,٨ ن/مم^{٢} في الاتجاه الطولي.

ويتراوح معامل المرونة للخشب بين ٧٧٠٠ و ١٣٩٠٠ ن/مم^{٢}.

٩-٥- الأخشاب المصنعة Artificial Timber :

يوجد أنواع كثيرة من الألواح المصنعة للزوم استعمالها في أعمال تشييد البناء. ونظراً لخصائص هذه الألواح وارتفاع سعر الخشب العادي فقد كثر استعمالها في الوقت الحاضر، ومن أبرزها :

٩-٥-١- الخشب الرقائقي (الأبلاكاش) Plywood :

يتكون الأبلاكاش من عدة رقائق من أخشاب الجوز أو الصنوبر، حيث ترتب رقائق الخشب فوق بعضها بشرط تعاقد أليافها أي تكون متعاكسة الوضع. ثم تلصق بالغراء الخاص مع ضغطها ضغطاً عالياً تحت المكابس الخاصة، ثم تجفف وتسوى أحرفها. وتكون عدد رقائق الأبلاكاش عادة فردية أي ٣ أو ٥ أو ٧ طبقة أو أكثر حتى يكون الوجهان الخارجان للوح متماثلان.

٩-٥-٢- الخشب الحبيبي Particle Board :

وهي ألواح مضغوطة من نشارة الخشب الطبيعي. تخلط هذه الجزئيات بالغراء الكيميائي ثم تضغط تحت مكابس ساخنة شديدة الضغط. وتكون هذه الألواح غشيمة الوجهين أو تكسى بالأبلاكاش أو الفورميكا وذلك لإعطائه صلابة واستعمال خاص.

٩-٦- حماية الخشب Preservative Treatments for Timber :

يمكن معالجة الخشب أثناء التصنيع أو التشييد بمواد حافظة لمنع أو على الأقل التأخير من تلفه بسبب الحشرات والبكتيريا والفطريات والحريق.

٩-٦-١- العوامل المتلفة للأخشاب :

- الفطريات (Fungus) التي تعمل على تحلل الخشب (Decay). وتكاثرها يعتمد كثيراً على درجة حرارة معتدلة ورطوبة عالية. ولا يحدث تحلل للأخشاب إذا كان جافاً وجيد التهوية.
- الحشرات (Insects) : تهاجم الخشب وتشمل السوس الموجود تحت الأرض وفوقها (Termites) والنمل الأبيض (White Ants) ونمل النجارة (Carpentar Ants) والأنواع المختلفة من الخنافس (Beetles).
- الطيور (Birds) : تهاجم الخشب بعض الطيور وتأكلها ومن أمثالها طائر الكوكاتوز (Cocatus).

٩-٦-٢- المواد والطرق المستخدمة في حفظ الأخشاب :

تنقسم المواد الحافظة للخشب إلى مجموعتين :

- الزيوت مثل الكريوزوت (Creosote) ومحاليل البترول (Petroleum Solutions).
- محاليل شمعية مثل محلول الفينول الشمعي (Phenolic Resin Solution).

والمواد الحافظة للخشب يمكن وضعها بعدة طرق على الخشب، كمثل دهانها بالفرشة (Brushing) أو رشها (Spraying) أو غمس الخشب فيها (Dipping) ولكن الوصول لأحسن معالجة للخشب يتم بضغط المواد الحافظة (Pressure Impregnation) خلاله أثناء تصنيعه.

٩-٦-٣- معالجة الأخشاب :

توجد أنواع كثيرة من الأخشاب المعالجة والتي لها خصائص خاصة لاستعمالها في الأعمال المختلفة في تشييد المباني، منها على سبيل المثال :

الأخشاب المقاومة للحريق (Fire Resistance of Timber) : ويكون بغمس الخشب في محلول كيميائي من فوسفات الأمنيوم (Ammonium Phosphate) الذي لا يدعم الاحتراق أو تغطية سطحه بمادة مقاومة للحريق وتعمل على تأخير درجات الحرارة لوصولها للخشب تحت ظروف الحرق. وعلى ذلك تقلل من انتشار اللهب الذي بدوره يقلل من اختراق اللهب إلى الخشب وبالتالي تلفه.

٩-٧- البلاستيك متعدد كلوريد الفينيل (بي في سي PVC) :

٩-٧-١- مقدمة :

متعدد كلوريد الفينيل أو بي في سي (Polyvinylchloride) هو مادة بلاستيكية شائعة الاستعمال، بل إنها من أكثر المنتجات الثمينة للصناعة الكيميائية. ويعد PVC من بوليميرات الضم التي تصنع منها كميات كبيرة جداً عبر آلية جذرية حرة. عالمياً فإن أكثر من ٥٠٪ من متعدد كلوريد الفينيل المصنع يستخدم في البناء كمادة إنشائية لأنه رخيص وسهل التركيب.

وقد استبدل، في السنوات الأخيرة، PVC مكان مواد إنشائية كثيرة في العديد من المناطق على الرغم من وجود مخاوف حول تأثير البولي فينيل كلوريد على البيئة والصحة البشرية.

٩-٧-٢- خواص PVC :

من أهم خواص PVC :

- الكثافة : ١٣٨٠ كجم/م^3.
- مقاومة الشد Tensile Strength : ٥٠ — ٨٠ ن/مم^2.
- معامل المرونة Young Modulus : ٢٩٠٠ — ٣٣٠٠ ن/مم^2.
- مادة عازلة للحرارة حيث أن الموصلية الحرارية له = ٠,١٦ (W/m K).
- مادة مقاومة للماء والرطوبة ولا يتأثر بها (امتصاص الماء خلال ٢٤ ساعة حسب ASTM = ٠,٠٤ — ٠,٤) لذلك يستعمل في الأعمال الصحية والمياه كالأنابيب.

- من

المواد غير القابلة للصدأ ومقاومة للأحماض والقلويات. - مادة عازلة للكهرباء، لذلك يستخدم في عزل الأسلاك الكهربائية والكابلات.

٩-٧-٣- استخدامات PVC :

يستخدم PVC في الكثير من الأعمال منها :

١) رولات العزل من المتعدد كلوريد الفينيل وهي لفات جاهزة تستخدم في عزل الأسطح والمباني المغمورة في المياه، كما تستعمل في تبطين القنوات وحمامات السباحة والأنفاق. وتتميز الرولات بمقاومة العوامل الجوية وتحمل الإجهادات وتحمل الأحمال الديناميكية.

٢) المواسير والأنابيب لأغراض التمديدات الصحية والخراطيم.

٣) الألواح والرقائق، وكذلك الأوراق لأعمال غطاء الجدران.

٤) أغطية للأرضيات.

٥) أغطية وعوازل للأسلاك الكهربائية.

٦) إطارات (براويز) النوافذ والأبواب بديلا عن الخشب والألمنيوم.

٩-٨- الـزجـاج : Glass

٩-8-١- تعريف الزجاج :

يعرف الزجاج بأنه مادة شفافة قاسية لا تذوب بالماء. ويقاوم الزجاج كل العوامل الجوية والأحماض باستثناء حامض الهيدروفلوريك، حيث يذوب الزجاج عند درجة حرارة تتراوح بين ٨٠٠- ٩٠٠°.

٩-8-٢- مكونات الزجاج :

تقسم المواد الخام الأولية المستخدمة في صناعة الزجاج إلى قسمين رئيسين هما :

١) المواد الأساسية وتضم :

- السيليكا : الذي يشكل المادة الأساسية التي يصنع منها الزجاج العادي، ويتم الحصول عليه من الرمل ولا يستخدم رمل الكوارتز نظراً للصعوبات وارتفاع كلفة التحضير للصناعة. ويشترط في الرمل المستخدم أن يحتوي على نسبة عالية من أكسيد السيلكا، وأن تتراوح مقاسات الحبيبات ما بين ٠,١ و ٠,٦ مم لضمان عملية الحرق المتجانس، بالإضافة إلى ضمان عدم تطاير المواد الناعمة داخل الفرن. ويتطلب أن تكون نسبة الشوائب قليلة خاصة الملونة منها مركبات الحديد.

- مركبات الصوديوم حيث يعمل أكسيد الصوديوم على تقليل درجة الانصهار ويساعد في تشكيل الزجاج.
- الكلس والدولوميت : حيث يساعد أكسيد الكالسيوم على تصليب الزجاج.
- الفلدسبار : يستخدم بشكل كبير لوجوده بشكل نقي كما إنه رخيص الثمن وينصهر بسهولة.
- البوراكس : يحتوي على أكسيدي الصوديوم والبورون حيث أن هذه المادة تنصهر بشكل جيد وتقلل من معامل تمدد الزجاج. ولذلك فإن الزجاج الحاوي نسبة كبيرة من أكسيد البورون لا ينكسر إذا سخن أو برد فجأة.

٢) المواد الثانوية : وتضم المواد التي تضاف لتحسين نوعية الزجاج كالمواد الملونة ومسرعات الانصهار والشفافية مثل أكسيد الرصاص وأكسيد التيتانيوم وأكسيد الباريوم .

وتخضع المواد الأولية إلى اختبارات مخبرية لضبط جودتها للاستعمال في صناعة الزجاج. ومن أهم تلك الاختبارات التدرج الحبيبي للرمل والتحليل الكيميائي للتأكد من خلو الرمل من الشوائب، وكذلك التأكد من نسب الأكاسيد حيث يمكن تعديل نسب الخلط بناء على التحليل الكيميائي.

٩-8-٣- صناعة الزجاج :

تمر صناعته بأربعة مراحل هي :

أ- الصهر: حيث تكون المواد الأولية قد حضرت على شكل بودرة أو حبيبات وتمزج مع بعضها البعض بنسب وزنية معينة ثم تدخل إلى الأفران الخاصة.

ب- التشكيل: يبرد منصهر الزجاج ببطء حتى يصل إلى مرحلة التشكيل بالدرجة المطلوبة ، يتم التشكيل بإحدى طريقتين:

- التشكيل اليدوي: يصب المنصهور في القالب ويتم تمرير الهواء عليه.
- التشكيل الآلي: حيث تتم عملية صب المنصهر والنفخ آليا. أما بالنسبة للزجاج المسطح، فيمرر الزجاج المنصهر من الفرن إلى وعاء السحب حيث يسحب الزجاج في شكل ألواح بين مجموعة من العجلات الاسطوانية. ويجب أن تتم عملية التشكيل في وقت قصير جداً حيث يتحول الزجاج خلال ذلك من عجينة إلى مادة صلبة .

ج- التهذيب أو التبريد : وهي عملية تبريد الزجاج ببطء لتجنب تشققه وتكسره وتلافي تكون مناطق ضعف في الأدوات الزجاجية بعد تشكيلها ،وتتم هذه العملية بوضع الأدوات الزجاجية في فرن التبريد على درجة حرارة تتراوح بين ٤٠٠- ٦٠٠^{o} لفترة زمنية كافية ، ثم تبرد تدريجياً إلى الدرجة العادية من الحرارة.

وفرن التبريد عبارة عن قشاط معدني طوله ١٥- ٧٥ متر وعرضه١- ٥ أمتار ويسخن الفرن كهربائياً أو بالمحروقات السائلة . د-

التجهيز : يتم في هذه المرحلة تنظيف الأدوات الزجاجية وصقلها وقطعها وتصنيفها.

٩-8-٤- خواص الزجاج :

١) الشفافية : يمتاز الزجاج بشفافية صافية متجانسة، تمر من خلاله جميع الأشعة الضوئية من فوق البنفسجية إلى تحت الحمراء. كما أن للزجاج القدرة على عكس وكسر الضوء ويتراوح معامل انكسار الزجاج بين (١,٤٦٧- ٢,١٧٩) ويكون معامل الانكسار في زجاج الرصاص أكبر ما يمكن.

٢) الكثافة : حيث توجد علاقة مباشرة بين الكثافة وتركيبة الزجاج والمعالجة الحرارية المتبعة. يبلغ متوسط الكثافة ٢,٥ جم/سم^{٣} وتتراوح ما بين ٢,١ و ٢,٨ جم/سم^{٣}. وعندما يسخن الزجاج ينخفض وزنه من ٣ إلى ١٠ ٪. ٣)

القساوة : الزجاج جسم هش سريع التحطم لا يتغير شكله عند الضغط أو الصدمة وتعرّف قساوة الزجاج بأنها قدرته على مقاومة الخدش أو الاحتكاك . وتختلف قساوة الزجاج باختلاف تركيبه حيث تعمل زيادة نسبة الجير والسيليكا على زيادة قساوته. ٤)

مقاومته للمواد الكيميائية : يقاوم الزجاج بشكل عام المحاليل الكيميائية (ولذلك فانه يستعمل في المختبرات الكيميائية) عدا حمض الفلوردريك والمصهرات القلوية التي تحل الزجاج بسهولة. ويؤثر الماء على الزجاج بعد تماسه لفترة طويلة جداً.

٩-8-٥- أنواع الزجاج :

١) البيركس : يقاوم الحرارة فعند تسخينه لا ينكسر نظراً لصغر معامل تمدده، بسبب احتوائه على نسبة عالية من أكسيد البورون. وتصنع منه الصحون وأكواب الشاي وزجاجيات المختبرات .

٢) الزجاج القاسي سيليكا ٩٦ : يمتاز بصغر معامل التمدد وارتفاع درجة انصهاره.

٣) الزجاج الصواني: يحتوي على نسبة كبيرة من أكسيد الرصاص ويلين بالتسخين ويستعمل في الأجهزة البصرية والمجوهرات الصناعية. وهناك نوع آخر من الزجاج الصواني يحتوي على نسبة كبيرة من أكسيد البوتاسيوم، وهو غير ملون وصاف ويستعمل في الأجهزة الكهربائية لأنه رديء التوصيل للكهرباء.

٤) الألياف الزجاجية : هي عبارة عن خيوط أو ألياف زجاجية تتم صناعتها بإمرار المنصهر الزجاجي على شبكة بلاتين مسخنة كهربائيا بشكل مستمر حيث تنتج خيوطاً زجاجية تلف حول اسطوانة تدور

بسرعة . وتستعمل هذه الألياف الزجاجية كمادة عازلة للحرارة، وفي صناعة الملابس الواقية من الحريق.

٥) الزجاج الضبابي غير الشفاف : يصنع بإضافة مواد (تكون دقائقها في الحالة الغروية) إلى منصهر الزجاج، حيث تبقى الدقائق عالقة لدى تبريد الزجاج وتجعله ضبابياً لأنهاً تنشر الضوء وتفرقه بسبب اختلاف معامل انكسارها عن معامل انكسار بقية الزجاج.

٩-8-٦- أشكال الزجاج واستخداماته :

١) الزجاج المسطح : يعتبر الزجاج المسطح شائع الاستخدام والاستعمال في الإنشاءات والنوافذ والأبواب والواجهات والقواطع. ويمكن أن يكون هذا الزجاج غير مصقول أو مصقولاً Flat Plate. كما أن الزجاج المسلح المسطح المصقول Wired Flat Plate هو زجاج مقوى ومسلح بالأسلاك، حيث يسحب مع شبك حديدي أثناء التصنيع.

٢) الزجاج المظلل : هو عبارة عن زجاج مسطح شفاف يدخل في مكوناته أصباغ من اجل إكسابه خواص التظليل وامتصاص أشعه الشمس. هدا النوع من الزجاج يقلل من اختراق أشعه الشمس لزجاج المباني. ويعد الزجاج الملون جزء مهماً في التصميم المعماري والمظهر الخارجي للمباني. كما يتم استخدامه في الديكور الداخلي مثل الأبواب وأطراف السلالم والمرايا.

٣) الزجاج المزدوج : (ذو الطبقتين) هو عبارة عن طبقتين من الزجاج العازل بينهما منطقه فارغة مغلقه بإحكام. ومن أهم فوائد الزجاج العازل توفير الشفافية التامة، و تقليل الفقد الحراري والذي يؤدي إلى تقليل استهلاك الكهربائي .

٤) الزجاج المقوى : عبارة عن نوع من الزجاج المسخن أو المقوى بالحرارة. ويكون أحد وجهي هذا النوع من الزجاج مغطى بالكامل أو جزئيا بواسطة إحدى أنواع المعادن. وبالإضافة للدور الجمالي الذي يلعبه هدا النوع من الزجاج فانه يتحكم في دخول أشعه الشمس. ويستخدم هدا النوع من الزجاج في العزل الحراري وتغطية الأسقف.

٥) الزجاج المرشوش بالرمل : هذا النوع من الزجاج يصنع بواسطة رش الرمل بسرعة عالية على سطح الزجاج. وهذه العملية تقلل من شفافية الزجاج وتعتبر أفضل من عملية حك الزجاج، ويتم تغطية الأجزاء التي يراد أن تبقى شفافة ويتم رش الرمل على الأجزاء الأخرى. وهذا النوع من الزجاج يستخدم للأغراض المنزلية والتجارية مثل الأبواب وأبواب الحمام والأثاث والفواصل والزجاج الداخلي.

٦) الزجاج العاكس : زجاج عادي مغطى بطبقه رقيقه من المعادن لتقليل أثر الشمس. ويعطي هذا النوع خاصية عدم الشفافية من جهة الطبقة، حيث يمكن للشخص أن يرى من خلال الزجاج.

٧) الزجاج الشمسي : يستخدم هدا النوع من الزجاج في عمليه تصنيع ألواح الطاقة الشمسية التي تمتص

الحرارة وتحولها إلى طاقة كهربائية

٨) الطوب الزجاجي المفرغ : يصنع من قطعتين منفصلتين تلتحمان ببعضهما بواسطة الحرارة لتشكيل الطوبة وتمتاز الطوبة بالعزل الحراري والصوتي. ويستخدم في النوافذ والواجهات الخارجية والجدران والقواطع الداخلية.

٩) الطوب الزجاجي المصمت : الهدف منه هو نقل الضوء من الخارج إلى الداخل. ويفضل في الطقس الحار تقليل الطاقة الشمسية الداخلة عن طريق دهان الطوب الزجاجي بطبقة معدنية لزيادة خاصية الانعكاس، بينما في الطوب المزدوج يمكن وضع المادة العاكسة في داخل الطوبة.

١٠) الزجاج الرغوي Foam Glass : يستخدم لأغراض العزل الحراري. ويمكن إنتاجه على شكل ألواح عازلة للحرارة تستعمل في عزل جدران وأسقف الأبنية ، أوعلى شكل مقاطع مناسبة لعزل الأنابيب. ويمتاز الزجاج الرغوي بمقاومة ميكانيكية عالية للكسر والشد والثني، وله قدرة جيدة على مقاومة الامتصاص للماء والرطوبة وغير منفذ للماء مطلقاً وغير قابل للاحتراق.

١١) الصوف الزجاجي Fiber Glass : يتكون الصوف الزجاجي من ألياف زجاجية معدنية دقيقة. وتتراوح كثافته من ١٢ كجم/م^{3} للفائف والبطانيات إلى ٣٠٠ كجم/م^{3} للألواح شبه القاسية المستعملة في أعمال العزل الحراري والصوتي في المباني.

٩-٩- أسئلة وتمارين :

١- ما أهم العيوب الطبيعية للأخشاب ؟

٢- ما خواص الخشب ؟

٣- ما العوامل المتلفة للأخشاب والطرق المستخدمة في حفظ الأخشاب ؟

٤- اذكر أهم استعمالات الخشب في أعمال البناء

٥- ما أهم خواص متعدد كلوريد الفينيل ؟

٦- ما استخدامات متعدد كلوريد الفينيل ؟

٧- ما خواص الزجاج ؟

٨- اذكر أهم أشكال الزجاج واستخداماته

خواص واختبارات المواد

الدهانات ومواد العزل

الجدارة:

معرفة أنواع وخواص الدهانات ومواد العزل.

الأهداف:

عند الانتهاء من دراسة هذه الوحدة يكون للمتدرب القدرة بأذن الله على:

- معرفة أنواع وخواص الدهانات.
- معرفة أنواع وخواص مواد العزل المائي.
- معرفة أنواع وخواص مواد العزل الحراري.
- استلام عينات الدهانات ومواد العزل ومطابقتها بالمواصفات.
- الفحص ومطابقة الأعمال المنفذة بالمواصفات المطلوبة.

مستوى الأداء المطلوب:

أن يتمكن المتدرب من التمييز بين مختلف أنواع الدهانات ومواد العزل المائي ومواد العزل الحراري وطرق استعمالها.

الوقت المتوقع للتدريب:

ساعتان نظريتان.

الوسائل المساعدة:

- وسائل عرض.
- نماذج وعينات وكتالوجات

متطلبات الجدارة:

معرفة عامة عن الدهانات ومواد العزل.

١٠- الــدهــانــات ومـواد الـعـزل
Paints and Insulation Materials

١٠-١- تعريف الدهانات :

الدهانات هي تلك الطبقة الأخيرة التي تكسى أو تطلى بها الأسطح (الجدران ،و الأسقف ،و الأرضيات ،و الخشب ،و المعادن) لتضفي طابعاً جمالياً وزخرفياً خاصاً ولتحمي الأسطح من التلف.

١٠-٢- المواد الأولية (الخامات) :

١٠-٢-١- المواد الرابطة Binders :

وهي السائل الرئيسي الذي يكون مسئولا عن حمل جميع مكونات الدهان الأخرى، والمادة الرابطة هي التي تحدد نوع الدهان سواءً كان دهاناً مائياً أو زيتياً أو سليلوزياً أو كحولياً ، و تتوقف قيمة الدهان على قيمة المادة الرابطة ، كذلك تتوقف جودته على جودة هذه المادة و قدرتها على حل المكونات المختلفة.

تعد المواد الرابطة من أهم مكونات البويات والدهانات بجميع أنواعها ، حيث أنها المسئول الرئيسي عن حمل مكونات الدهان و مسؤولة أيضاً عن لصق الدهان بالسطح، و جودة المادة الرابطة هي التي تحدد جودة الدهان.

و المادة الرابطة لها عدة أنواع من حيث الحالة الموجودة بها سواء كانت سائلة أو صلبة أو بودرة. وتتقسم المواد الرابطة إلى قسمين :

- ❖ راتنجات صناعية يتم جفافها عن طريق التفاعلات الكيميائية.
- ❖ راتنجات طبيعية يتم جفافها بتطاير المذيبات.

١٠-٢-٢- المواد المالئة :

وتسمي كذلك القواعد الأساسية للدهانات، والمقصود بها هي البودرة المكونة للدهان والتي تكون مع المادة الحاملة القوام الأساسي للدهان. وهي المساحيق الأساسية التي تكون مع المواد الرابطة القوام الرئيسي للدهانات. ومن أهم أنواع المواد المالئة : كبريتات الباريوم $BaSO_4$،و كبريتات الكالسيوم $CaSO_4$،و كربونات الكالسيوم $CaCO_3$.

١٠-٢-٣- المواد المذيبة Solvent :

هي مواد عضوية متطايرة تستخدم لإذابة الراتنجات ولتقليل اللزوجة في البويات والورنيشات، ومن أمثلة المذيبات ما يلي :

- التربنتين : ويستعمل كمخفف ومجفف في الدهانات والورنيشات.
- النفط المعدني : يستخدم أيضاً كمخفف ومجفف بدلاً من التربنتين لغلو ثمن الأخير.
- المواد الكحولية مثل الميثانول والايثانول.
- المواد الايستيرية Esters مثل خلات المثيل وخلات الإيثيل.

١٠-٢-٤- المواد الملونة Pigments :

وهي التي تعطي للدهان اللون المطلوب، وقد تكون هذه الأكاسيد لوناً واحداً أو لونين أو أكثر بشرط التجانس وعدم حدوث تفاعلات كيميائية التي تؤثر على الدهان. ومن المواد الملونة : ملونات أكاسيد الحديد (مثل أكسيد الحديد الأحمر Fe_2O_3)، الملونات الكرومية (مثل أكسيد الكروم الأخضر)، ملونات الزنك (مثل الزنك الأصفر)، وملونات الرصاص، وملونات الكادميوم.

١٠-٢-٥- الإضافات المساعدة :

هي المحسنات والمثبتات والمجففات، وهي في الحقيقة ذات أهمية قصوى في صناعة البويات لأنها مساعدات للتغلب على بعض الصعوبات خلال عملية التصنيع والإنتاج والاستخدام. وتصنف كالتالي :

- المواد الحافظة Preservatives وهي تمنع تكوين الكائنات الحية والطفيليات خاصة في الدهانات المائية.
- المواد المجففة Drier وهي التي تساعد على جفاف طبقة الدهانات الزيتية.
- المواد المانعة لتكون القشرة Antiskinning.
- المواد المانعة للترسيب Antisetteling.
- مواد منع الرغوة Antifoaming.
- مواد وقف الحرائق Flame Retardants.

١٠-٢-٦- الملدنات :

هي مواد مساعدة تضاف إلى الدهانات لتعطي مرونة في سطح الدهان وتقلل من الصلابة وتزيد من قوة الالتصاق وتزيد اللمعان.

١٠-٣- أنواع الدهانات :

١٠-٣-١- الدهانات المعمارية :

١) الدهانات ببوية البلاستيك :

وهي الدهانات المائية المستحلبة Emulsion Paint المعروفة باسم بوية البلاستيك. وتعد من أحدث أنواع الدهانات على الإطلاق والتي تطورت تطوراً كبيراً وأصبحت تنافس جميع أنواع الدهانات الأخرى.

وتفوقت هذه الدهانات للأسباب التالية :

- سرعة الدهان وجفافه.
- إمكانية الحصول على ألوان بدرجات مختلفة لا يمكن الحصول عليها من أي دهان آخر.
- استحداث أنواع لامعة ونصف لامعه وقابلة للغسيل.
- سهولة التصنيع والتطبيق.
- رخص الثمن كخامات وإنتاج.
- سهولة التنظيف وإمكانية دهان طبقة جديدة بعد فترة.

وأصبح ينتج من دهانات بوية البلاستيك الأنواع الآتية : دهانات البلاستيك المطفي، ودهانات البلاستيك اللامع، ودهانات البلاستيك النصف لامع.

٢) الكوارتز Quartz :

يعد من الدهانات الحديثة العملية التي تتمتع بجمال المظهر والألوان المتعددة الحديثة والجميلة، مع سهولة التنفيذ وسرعته، ولا يحتاج دهان الكوارتز إلى خبرات عالية.

ومن مميزاته إمكانية دهانه على جميع أنواع الأسطح سواء الخرسانية سابقة الصب أو سابقة الإجهاد.

ويعطي هذا الدهان شكلاً محبباً يتم دهانه بروله إسفنجية، كما يمكن رشه بماكينات رش البويات.

ويمكن فرد الكوارتز بسكينه معجون ثم عمل النقشات المطلوبة بواسطة رولة عادية أو بالتمشيط.

كما يمكن التحكم في النقشه وحجم الحبة بواسطة تخفيف الكوارتز بالماء، فعند الرغبة في الحصول على كوارتز ناعم ذو حبة صغيرة يتم تخفيف الكوارتز بالماء.

ويوجد عدة أنواع أيضاً من الكوارتز كما هو الحال في بوية البلاستيك، فيوجد النوع المطفي العادي والنوع اللامع والنصف لامع. كما يوجد أنواع أخرى من الكوارتز من حيث النعومة أو الخشونة، وهذا يتوقف على حجم الحبيبات الداخلة في التركيب.

٣) الجرافياتو Gravato :

- يعتبر الجرافياتو من التكسيات الحديثة المتطورة التي تحل مشاكل كثيرة خاصة للأسطح المختلفة

سواء الإسمنتية أو الخرسانية أو الخشبية، وكذلك الأسطح الخرسانية سابقة التجهيز وسابقة الإجهاد.
ويمكن فرد الجرافياتو على مباني الطوب بشرط استواء السطح وتكون العراميس مملوءة.
ويعالج الجرافياتو عيوب الأسطح حيث يتم فرده بسمك من ٣ مم إلى ٩مم فيغطي بذلك عيوب القصارة أو الطوب أو الخرسانة أو الأسطح الأخرى كالأسطح الخشبية.

٤) الجرانيوليت GRANULITS :

الجرانيوليت من تكسيات الحوائط المنتشرة والشائعة في غالبية الدول، وهو مناسب لأعمال الديكورات والواجهات والمداخل وقد تم استحداث أنواع كثيرة.
ويتكون الجرانيوليت من كسر الرخام الطبيعي أو من حبيبات الرمال التي يتم تلوينها بالدوكو أو الأيبوكسي، ويتم ذلك في خلاطات خاصة ثم تخفف. ويتراوح حجم حبيبات الجرانيوليت من ٠,٣ مم إلى ١,٦ مم. وقد تم استحداث نوع من الجرانيوليت مكون من خرز البلاستيك المستدير الملون. ويمكن عمل تداخل في تكوين حبيبات الجرانيوليت كإدخال لونين أو أكثر بنسب محددة وبنفس مقاس الحبيبات فتعطي شكلاً جمالياً رائعاً.

٥) اللاكيه (بوية الزيت) :

يعد اللاكيه من الدهانات الزيتية التي تستخدم منذ فترة طويلة، وأثبتت كفاءة عالية ولها قوة تحمل عالية للظروف الجوية المختلفة مع قابلية الغسيل. ويحتاج اللاكيه (بوية الزيت) إلى خبرة عالية في تصنيعه أو دهانه، كما أن السطح المراد دهانه باللاكيه يحتاج إلى تجهيزات خاصة.
وله عدة أنواع : لاكيه لامع، لاكيه نصف لامع، لاكيه مط.

١٠-٣-٢- الورنيشات :

يعد الورنيش من المواد التي تظهر الشيء وتعطيه بريقاً لامعاً بجانب توفير الحماية اللازمة له.
لذلك تطورت صناعة الورنيش بحيث يعطي خواص ومقاومات لم تكن معروفة من قبل. فأصبح يوجد ورنيش عازل للرطوبة ، وورنيش عازل حراري بجانب الورنيشات المعتادة المقاومة للعوامل الجوية وللاستخدامات المختلفة .
ويتطلب الورنيش أن يكون السطح المدهون به متوافقاً مع الدهانات الموجودة على السطح، بالإضافة إلى معرفة مواد التخفيف للورنيش المستخدم.

أنواع الورنيشات :

تتلخص أنواع الورنيشات الرئيسية حسب نوع المواد المخففة إلى:

١) ورنيش زيتي يخفف يالتربنتين (ورنيشات السنتيك).

٢) ورنيش كحولي يخفف بالكحول أو الأسيتون.

٣) ورنيش مائي يخفف بالماء.

٤) ورنيش سليلوزي يخفف بالتنر.

٥) الورنيشات الشمعية.

ويعتمد اختبار الورنيش على معرفة سرعة جفافه، ومقاومته للخدش والرطوبة، والقوام المناسب. ويمكن الاعتماد على رائحة الورنيش لمعرفة ما إذا كان يضاف إليه نفط أو كيروسين. وبدهان قطعة من حديد الصفيح بالورنيش يمكن معرفة سرعة الجفاف، كما يمكن أن يتم تغطيسها في الماء عدة مرات لمعرفة مقاومتها للماء.

١٠-٣-٣- الدهانات العازلة :

تأخذ الدهانات العازلة الأنواع التالية :

١) الدهانات البيتومينية العازلة :

وهي من الأنواع الحديثة في الدهانات العازلة، وقد أثبتت كفاءة ممتازة إذا نفذت بطريقة جيدة مع جودة تصنيعها. ويوجد منها نوعان الأول يخفف بالنفط والثاني يخفف بالماء. وتستخدم لعزل الأسطح أوالحمامات أوالأساسات.

٢) الدهانات البيتومينية المطاطية :

يعد هذا النوع من أحسن أنواع الدهانات العازلة البيتومينة الحديثة لوجود مواد مطاطية به تجعله يقاوم تدفق المياه، مع وجود المرونة الشديدة في هذا الدهان. لذلك فإنه يتناسب مع الاستخدام في الأقبية وفي عزل الحوائط، مع ضرورة إسناد هذا الدهان بحائط نصف طوبة أو حائط شبك ممدد مبيض أو الطرطشة بمونة شديدة مع مواد رابطة Bonding Agent مع الإضافات اللازمة لهذه المونة من حيث منع نفاذية المياه.

٣) الدهانات العازلة بالأكليريلك :

أصبح الأكليريلك يدخل في العديد من الصناعات والدهانات، كما يستخدم أيضاً في أعمال العزل الهامة مثل الأقبية والأسطح. ويعطي هذا النوع من العزل سطحاً مرناً مثل رولات البلاستيك الـ PVC، وهذه الميزة تجعله يقاوم المياه بشدة. كما يوجد نوع شفاف من هذا الدهان يستخدم لتغطية الآثار الهامة والواجهات، مع الاحتفاظ بالشكل العام لها.

٤) الدهانات العازلة بالبولي ريثان :

يوجد دهان من البولي ريثان يدهن فوق الأسطح المراد عزلها بعمل طبقة مرنة صلبة تمنع تسرب المياه.

٥) الدهانات العازلة الأيبوكسية :

يوجد منه عدة أنواع مختلفة الاستخدامات، ويتم الدهان على وجهين، يكون الأول بالفرشاة أو باستخدام Air less Gun وبعد ٨ ساعات يتم دهان الوجه الثاني. ويجب أن يكون السطح المراد عزله بالأيبوكسي سطحاً قوياً ليتناسب مع صلاحية المادة الأيبوكسية.

٦) الدهانات الإسمنتية العازلة :

تتكون الدهانات الأسمنتية العازلة من إسمنت بورتلاندي عادي مضاف إليه مواد مالئة من الكوارتز الناعم، مع لدائن صناعية مثل الهيدروكسي ميثيل سليولوز ومادة الميلمنت Melment 10 والمخلوط جيداً بنسب مدروسة.

ويعد استخدام الدهانات العازلة الإسمنتية من أحدث أنواع العزل، حيث تعطي نتائج ممتازة نظراً لأن جزيئات التفاعل عند خلط الماء إليه تتحلل على سطح الخرسانة أو المونة مكونة بلورات كريستالية تسد مسام السطح و تجعله غير منفذ للمياه، وتعمل كخط دفاع أول للسطح المقابل للمياه.

١٠-٤- خواص الدهانات :

إن أهم خصائص الدهانات السائلة ما يلى :

- النعومة
- اللزوجة
- كمية المواد الصلبة
- الكثافة النوعية
- قوة التغطية
- سرعة الجفاف
- القابلية للطلاء
- القابلية للتخزين
- نسبة المواد اللاصقة
- نسبة المواد المالئة والملونة.

١٠-٥- عوازل الماء والرطوبة :

رغم أن العزل يمثل ٥٪ من تكلفة أي منشأ فانه يؤثر على الـ ٩٥٪ الباقية. والمبنى المعزول عزلاً سيئاً يحدث له ما يحدث من تلف وصداً وتآكل للخرسانة والحديد ، ثم تلف بنود البياض والدهانات والمباني والكهرباء بجانب الشكل غير الحضاري للمبنى وما يتبعه من ضرر بيئي.

١٠-٥-١- أنواع العزل المائي :

١) مواد عازلة على أساس ساخن Hot Applied :

وهذا النوع مثل دهان الأساسات بالبيتومين الصلب والبيتومين المؤكسد (المنفوخ) بنسبة ١:٢ عن طريق التسخين وخلط النوعين المذكورين. كما يمكن استخدام البيتومين المطاطي على الساخن بإضافة مواد بوليمرية إلى البيتومين المؤكسد لزيادة الاستطالة لمقاومة التشقق. أما الخلطات البيتومينية (ماستيك) Mastic bitumen التي تتكون من الإسفلت والركام فتستخدم لأعمال الأسطح الأفقية والأساسات.

٢) المواد العازلة من الشرائح البيتومينية :

وهي من أقدم أنواع العزل، ويسمي بالخيش أو اللباد أو الألياف الزجاجية المغطاة بالبيتومين من الجهتين. وكل نوع له وزن معين وسمك محدد مع مراعاة الاختبار الجيد للمواد سواء الاختبار الموقعي أو المعملي.

٣) المواد العازلة من الشرائح البيتومينية المعدلة :

وهي شرائح من البيتومين المعدل مع مواد مالئة وإضافات أخرى، حيث يتم تغطية النسيج بهذه الخلطة من الجهتين سواء كان هذا النسيج بولي إستر أو فيبرجلاس أو بولي إيثيلين.

٤) أنواع أخرى من المواد العازلة مثل :

- المواد العازلة من الرقائق البلاستيكية المرنة من الـ PVC أوالبولي إيثيلين.
- المواد العازلة البوليميرية.
- المواد العازلة الإسمنتية.
- المواد العازلة باستخدام الإضافات.
- المواد العازلة باستخدام المواد الأيبوكسية والبولي ريثلن.
- المواد العازلة باستخدام الواتر ستوب Water Stop.

- العزل باستخدام مواد فواصل الصب وفواصل التمدد والانكماش.

١٠-٥-٢- مواد العزل :

١) البيتومين المؤكسد والعادي :

البيتومين المؤكسد ذو صلابة عالية وشديد اللمعان ولونه أسود داكن، وله قوة لصق عالية عند التسخين، لذلك يستخدم بكفاءة عالية مع الخيش الجيد في أعمال العزل عموماً وأعمال العزل الرأسي خاصة كالحوائط والأقبية والخزانات الأرضية وحمامات السباحة.

أما البيتومين العادي (٨٠/٧٠) فان صلابته أقل ولونه غير داكن ولمعانه قليل والتصاقه أضعف من المؤكسد.

ويجب التأكد من خلو البيتومين من الشوائب والرمال على أن يتم الشراء من مصادر موثوقة مع عمل الاحتياطات اللازمة عند التسخين.

٢) رولات العزل الحديثة Modified Bitumen Water Proofing Membrane :

يكمن العزل الحديث في شرائح البيتومين المسلح بالبولي استر أو الفيبرجلاس أو البولي إيثيلين أو البولي استر المسلح بالفيبرجلاس (كنسيج). وطبقة التسليح (النسيج) بأنواعها المختلفة سواء البولي استر أو الفيبرجلاس أو البولي إيثيلين أو شرائح البولي استر المسلح بالفيبرجلاس تعطي للرولات خواص ميكانيكية جيدة بجانب ثبات الأبعاد.

٣) البيتومين على البارد Cold Applied Bitumen :

يعد هذا النوع من المواد العازلة الحديثة التي تستخدم بكفاءة عالية ويوجد منه نوعان الأول يخفف بالماء والثاني يخفف بالنفط.

٤) العزل برقائق البلاستيك المرنة :

هي لفات جاهزة من البلاستيك المرن يفرد على الأسطح المطلوب.

٥) الواتر ستوب Water Stop :

هي عبارة عن رولات من الـ PVC عرضها من ١٠- ٣٠ سم بها نتوءات أو دوائر، وتكون أطوالها من ٣٠ إلى ٥٠ متر، ويوجد منها أنواع حديثة من الصلب.

يستخدم هذا النوع في أعمال الخزانات وحمامات السباحة، والأقبية حيث يتطلب العزل حماية الأركان ومعالجة نقطة التقاء الحائط الرأسي مع الأرضية حيث يتم وضعها أفقياً بعد الانتهاء من وضع حديد التسليح الرأسي والأفقي مع ضرورة تثبيتها جيداً بسلك الرباط وملاحظتها أثناء صب الخرسانة.

٦) المواد العازلة الإسمنتية Cementitous Insulation :

و هذا النوع من أكفأ أنواع العزل وله استخدامات خاصة، كحمامات السباحة والخزانات حيث تتخلل جزئيات هذا الدهان سطح الخرسانة أو المونة مكونة بلورات كريستالية تسد مسامة السطح وتجعله غير منفذ.

يستخدم هذا النوع كخط دفاع إضافي لعزل الخرسانة، بالإضافة إلى العزل الثاني من البيتومين أو أياً من الأنواع الأخرى.

١٠-٦- العزل الحراري :

تنتقل الحرارة عادة من المادة الأعلى درجة إلى الأقل درجة. أما كمية الحرارة المنتقلة فتعتمد على عدة عوامل :

- طبيعة المادة.
- سمك ومساحة الوسط.
- فرق درجة الحرارة بين الوسطين.

أما في حالة المباني فإن الحرارة تنتقل صيفاً من الخارج إلى الداخل عبر الجدران والأسقف بينما ينعكس ذلك شتاء من الداخل إلى الخارج.

وتعد الخرسانة والطوب المصمت وأحجار البناء من المواد الناقلة جيداً للحرارة، بمعنى أنها تسمح لمعظم الطاقة الحرارية بالانتقال من خلالها، بينما يعد الخشب من المواد رديئة التوصيل للحرارة. ويكمن سبب ذلك في نسبة ما تحتويه المادة من هواء وغازات ساكنة. فالمواد التي تحتوي في تكوينها على هواء ساكن تعد رديئة التوصيل الحراري بينما المواد شديدة الصلابة مثل الحديد وخلافه تعد من المواد الجيدة للتوصيل الحراري. أما المواد العازلة فتحتوي عادة على ما يقارب ٩٥ ٪ من حجمها هواء وعليه فهي مواد رديئة جداً لنقل الحرارة.

١٠-٦-١- تعار يف هامة في العزل الحراري :

- الموصلية الحرارية Thermal Conductivity (K) :

هي كمية الحرارة المارة عمودياً خلال سطح مادة مساحتها الوحدة وسمكها الوحدة عندما يوجد فرق في درجات الحرارة بين سطحي المادة مقداره الوحدة في حالة الاتزان الحراري (هي الحالة التي لا يعتمد انتقال الحرارة فيها على الزمن) ووحدتها W/m°C

- الكثافة Density :

هي كتلة وحدة الحجوم من المادة ويعبر عنها كجم/م³. وبالنسبة لمجال عزل المنشآت فيعتبر التغير في الكثافة كافياً ويفي بأغراض العزل الحراري في المنشآت.

- الحرارة النوعية :

هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة ١ كجم من المادة درجة واحدة مئوية ووحدتها Joule/Kg °C

- المقاومة الحرارية R- Thermal Resistance :

تعرف بقدرة المادة على مقاومة سريان الحرارة من السطح المعرض للحرارة إلى السطح غير المعرض وتتوقف المقاومة الحرارية لأي مادة على سمك المادة والموصلية الحرارية لها ووحدتها $Watt\ /°Cm^2$.

١٠-٦-٢- أنواع العوازل الحرارية :

يمكن تقسيم العوازل الحرارية المتوفرة عالمياً إلى الأنواع التالية :

١) جاسئة : وهي ألواح وقطع صلبة مثل ألواح الألياف المعدنية وألواح البوليستيرين.
٢) شبه جاسئة : وهي العوازل التي يتم تطبيقها بالرش، وقد تكون عوازل ليفية أو حبيبية يتم خلطها عند التطبيق مع واحد أو أكثر من المركبات الكيميائية مثل البولي يوريتان المرن.
٣) سائبة : عوازل على شكل بودرة أو حبيبات أوعلى شكل قطن منفوش مثل البرلايت والفرميكولايت والأصواف المعدنية.
٤) لينة : عوازل بشكل سائب وجافة يتم تحضيرها بالخلط مع الماء مثل سيليكات الكالسيوم والمغنزيوم.
٥) رغوية : يتم تطبيق المواد الكيميائية السابقة الخلط في الواقع لتعبئة الفراغات.

١٠-٦-٣- مواد العزل الحراري :

فيما يلي أهم المواد المستعملة في العزل الحراري :

أ- مواد العزل السائبة :

١) البيرلايت Perlite :

هو عبارة عن زجاج بركاني خامل ممدد بعملية تسخين خاصة ومعالج بسليكون غير قابل للاشتعال حيث ينتج في صورة مادة خفيفة الوزن حبيبية بيضاء يمكن تداولها بسهولة.

٢) الفيرموكلايت Vermiculite :

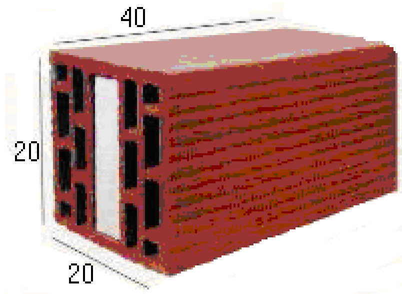
ركام رقائقي ذو مسطحات لامعة أو في صورة قشور الميكا الرقائقية ينصهر في درجات حرارة عالية جداً منتفخاً لأضعاف حجمه، ويمكن تداوله وصبه بسهولة.

ب- ألواح العزل

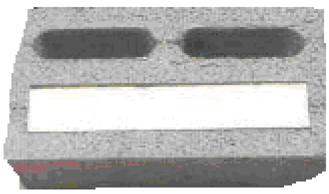
١) البوليستيرين Polystyrene :

حسب طريقة التصنيع، يجب التمييز بين نوعين من البوليستيرين المتمدد والمشكل بالبثق :

- البوليستيرين المتمدد : وهو فوم صلب بلاستيك حراري يتكون من عدة حبيبات متمددة قطرها ١٠:١ مم ملتصقتين تماماً. والشكل رقم (٣٣) يبين نموذجاً لطوب أحمر معزولاً بالبوليستيرين.
- البوليستيرين المشكل بالبثق أو المبثوق Extruded Polystyrene : وهو فوم صلب بلاستيك حراري مصنع بالبثق المتواصل للبوليستيرين بواسطة غاز التمدد الذي يؤدي إلى لوح بوليستيرين يكون فيه الغاز المتمدد في خلايا مغلقة، ويتم التحكم في كثافة ألواح البوليستيرين البثق ما بين ٣٠ و ٤٠ كجم/م^{٣}. والمنتج النهائي لبوليستيرين البثق يكون ألواح بسيطة يمكن قطعها إلى مقاسات مختلفة. والشكل رقم (٣٤) يبين نموذج لطوب خرسانى معزول بمادة بالبوليستيرين.



الشكل٣٤ : طوب أحمر معزول بالبولسترين



الشكل٣٥ : بلوك خرساني معزول بالبولسترين

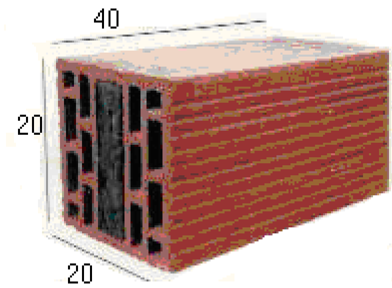
٢) الألياف المعدنية Mineral Fibers :

هي عائلة تشمل الصوف الزجاجي Glass Wool والصوف الخبثي Slag Wool والصوف الصخري Rock Wool وصوف الكاولينا Ceramic Fiber. وتتشابه هذه المواد في شكلها وخواصها العامة، وإن كانت تتفاوت بعض الشيء في خواصها الفيزيائية والحرارية تبعاً لنوع المادة الخام المصنوعة منها. ويصنع الصوف الزجاجي من الرمل المكون أساساً من السيليكا والتي لا تتحمل أكثر من ٤٠٠°. ويصنع الصوف الخبثي من شوائب المعادن الحديدية الناتجة عن صناعة الحديد والتي تنصهر ما بين ٥٥٠° و ٦٠٠°. ويصنع الصوف

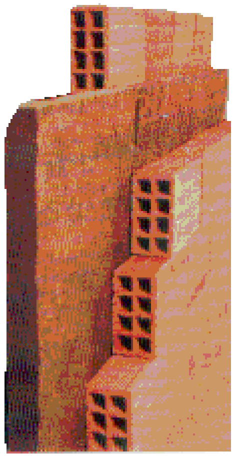
الصخري من منصهر الصخور البركانية البازلتية بالإضافة لبعض الإضافات الأخرى التي يتم صهرها عند درجة حرارة تتراوح بين ١٤٥٠ و١٥٠٠° حيث يتم تحويلها إلى ألياف تتحمل درجات حرارة تقارب ١٢٦٠°. وتكون ألياف المواد السابقة بشكل ألياف القطن، ويتم تشكيلها إما بإضافة مواد عضوية لاصقة لتشكيل ألواح صلبة أو شبه صلبة أو لفائف مرنة أو تبقي دون مادة رابطة وتخاط على شكل فرشات، والشكلان (٣٥) و (٣٦) توضح نماذج من العزل باستخدام الصوف الصخري.

ويتوفر الصوف المعدني في ثلاثة أشكال رئيسية :

١) ألياف على هيئة أنسجة تورد في لفائف.
٢) حصائر لها واجهة تقوية من الشبك.
٣) بلاطات صلبة تربط برابط مناسب لتكوين بلاطة أكبر.



الشكل٣٦ : طوب مفرغ معزول بالصوف الصخري



الشكل٣٧ : جدار مزدوج معزول بالصوف الصخري

٣) البولي يوريثين الرغوي Polyurethane :

تصنع هذه المادة نتيجة لتفاعل كيميائي بين مادتين يمكن خلطهما بنسب معينة. يصنع عادة ألواح من هذه المادة مركزياً بينما يمكن خلط مكونات البوليورثين في موقع العمل، حيث يكون الفراغ المراد عزله هو القالب للتفاعل الكيميائي الخاص في التكوين، وتصنع البوليورثين بكثافات عديدة حسب المتطلبات الخاصة. وتعتبر الموصلية الحرارية للبوليورثين من أقل الموصلية الحرارية لجميع العوازل.

١٠-٦-٤- متطلبات العزل الحراري :

إن متطلبات لائحة العزل الحراري لدول مجلس التعاون الخليجي هي :

- أن لا تقل قيمة المقاومة الحرارية (R) للجدران عن ١,٣٥ متراً مربعاً درجة مئوية لكل وات.
- أن لا تقل قيمة المقاومة الحرارية (R) للأسقف عن ١,٧٥ متراً مربعاً درجة مئوية لكل وات.

ومن الحلول التي تؤدي إلى عزل حراري جيد للحوائط الخارجية هو بناء جدار مزدوج من الطوب الأحمر سماكة ١٠ سم وبداخله لوح من الصوف الصخري العازل سماكة ٥ سم حيث تصل مقاومته الحرارية إلى ٢ متراً مربعاً درجة مئوية لكل وات ($Watt /°C\ m^2$) باعتبار اللياسة.

١٠-٧- أسئلة وتمارين :

١- ما المواد الأولية (الخامات) المستعملة في صناعة الدهانات ؟

٢- اذكر أهم أنواع الدهانات واستعمالاتها

٣- اذكر أهم المواد العازلة للماء والرطوبة

٤- اذكر أهم المواد المستعملة في العزل الحراري ؟

المراجـــع

١- تقنية صناعة الخرسانة. د.م حبيب مصطفي زين العابدين. الرياض الطبعة الثانية ١٩٩٢.

٢- تشييد المباني. الأجزاء ٣,٢,١. د.م فاروق عباس حيدر. الطبعة السادسة. منشأة المعرف بالإسكندرية. ١٩٩٩.

٣- العزل الحديث. عزل المياه، العزل الكيماوي،و عزل الحرارة. م.أ حسين محمد جمعة، ٢٠٠٤.

٤- موسوعة الدهانات والورنيشات المعمارية والصناعية. م.أ حسين محمد جمعة، ٢٠٠٣.

٥- خواص مواد البناء واختباراتها. أ.د. مصطفى السيد شحاتة و د. عبد الوهاب عوض. دار الراتب الجامعية، بيروت.

٦- مواد البناء واختباراتها القياسية. د. محمد على بركات. دار الراتب الجامعية، بيروت، ١٩٩٠.

٧- دليل صناعة المواد الإنشائية،و المنتجات وخواصها. د.م. زهير محمد سماره. عمان، الأردن، ٢٠٠٣.

٨- Materials in Construction. G.D. Taylor, Longman 2000

المحتويات

الصفحة

مقدمة ٢
تمهيد ٣

الوحدة الأولى : ١- الأحجار الطبيعية والركام ٥
١-١- مقدمة ٧
١-٢- أقسام الصخور ٧
١-٣- الرخام ٨
١-٤- أحجار البناء ١٠
١-٥- الركام ١٢
١-٥-١- تكوين الركام ١٢
١-٥-٢- أنواع الركام ومصادره ١٣
١-٥-٣- خواص الركام ١٣
١-٥-٤- الشوائب في الركام ١٩
١-٥-٥- استعمالات الركام ٢٠
١-٦- أسئلة وتمارين ٢١

الوحدة الثانية : ٢- الإسمنت ٢٢
٢-١- تعريف الإسمنت ٢٤
٢-٢- صناعة الإسمنت ٢٤
٢-٣- أنواع الإسمنت ٢٦
٢-٤- خواص الإسمنت ٢٧
٢-٥- تخزين الإسمنت ٣٠
٢-٦- ضبط الجودة ٣١
٢-٧- أسئلة وتمارين ٣١

الوحدة الثالثة : ٣- ماء الخلط والمواد المضافة ٣٣
٣-١- وظيفة ماء الخلط ٣٥
٣-٢- خواص ماء الخلط ٣٥
٣-٣- المواد المضافة ٣٦
٣-٣-١- تعريف المواد المضافة ٣٦
٣-٣-٢- أنواع المواد المضافة ٣٦
٣-٤- أسئلة وتمارين ٣٨

الوحدة الرابعة : ٤- الخرسانة ٣٩
٤-١- مقدمة ٤١
٤-٢- خواص الخرسانة الطازجة ٤١
٤-٣- خواص الخرسانة المتصلدة ٤٤
٤-٤- العناصر المؤثرة في مقاومة الخرسانة ٤٨
٤-٥- أسئلة وتمارين ٤٩

الوحدة الخامسة : ٥- تقنية الخرسانة ٥١
٥-١- خلط الخرسانة ٥٣
٥-٢- نقل الخرسانة ٥٣
٥-٣- صب الخرسانة ٥٤
٥-٤- دمك الخرسانة ٥٥
٥-٥- تشطيب الخرسانة ٥٦
٥-٦- معالجة الخرسانة ٥٧
٥-٧- أسئلة وتمارين ٥٨

الوحدة السادسة : ٦- الطوب والبلك ٥٩
٦-١- المواد الخام للطوب الطفلي ٦١
٦-٢- صناعة الطوب الطفلي ٦١
٦-٣- أنواع الطوب الطفلي ٦٢

٦-٤- خواص الطوب الطفلي ٦٤
٦-٥- الطوب والبلك الخرساني ٦٥
٦-٥-١- أنواع الطوب الخرساني ٦٥
٦-٥-٢- مكونات الطوب الخرساني ٦٦
٦-٥-٣- مراحل صناعة الطوب الخرساني ٦٦
٦-٥-٤- خواص الطوب الخرساني ٦٧
٦-٦- أسئلة وتمارين ٦٨

الوحدة السابعة : ٧- الجير والجبس ٦٩
٧-١- أنواع الجير ٧١
٧-٢- صناعة الجير ٧١
٧-٣- استخدامات الجير ٧٢
٧-٤- خواص الجير ٧٢
٧-٥- الجبس ٧٣
٧-٥-١- صناعة الجبس ٧٣
٧-٥-٢- أنواع الجبس ٧٣
٧-٥-٣- استعمالات الجبس ٧٤
٧-٥-٤- خواص الجبس ٧٤
٧-٥-٥- ألواح الجبس ٧٥
٧-٦- أسئلة وتمارين ٧٦

الوحدة الثامنة : ٨- المواد المعدنية ٧٧
٨-١- مقدمة ٧٩
٨-٢- صناعة الحديد ٧٩
٨-٣- تأثير نسبة الكربون على خواص الحديد الصلب ٨٠
٨-٤- حديد التسليح ٨١
٨-٥- العلاقة بين الإجهاد والانفعال ٨٣
٨-٦- حديد الإنشاءات المعدنية ٨٥

٨-٧- الألمنيوم ٨٦
٨-٨- أسئلة وتمارين ٨٧

الوحدة التاسعة : ٩- المواد غير المعدنية ٨٨
٩-١- أنواع الخشب ٩٠
٩-٢- تجفيف الخشب ٩٠
٩-٣- العيوب الطبيعية للأخشاب ٩١
٩-٤- خواص الخشب ٩١
٩-٥- الأخشاب المصنعة ٩٢
٩-٦- حماية الخشب ٩٣
٩-٧- البلاستيك متعدد كلوريد الفينيل PVC ٩٤
٩-٧-١- مقدمة ٩٤
٩-٧-٢- خواص PVC ٩٤
٩-٧-٣- استخدامات PVC ٩٥
٩-٨- الزجاج ٩٥
٩-٨-١- تعريف الزجاج ٩٥
٩-٨-٢- مكونات الزجاج ٩٥
٩-٨-٣- صناعة الزجاج ٩٦
٩-٨-٤- خواص الزجاج ٩٧
٩-٨-٥- أنواع الزجاج ٩٧
٩-٨-٦- أشكال الزجاج واستخداماته ٩٨
٩-٩- أسئلة وتمارين ٩٩

الوحدة العاشرة : ١٠- الدهانات ومواد العزل ١٠٠
١٠-١- تعريف الدهانات ١٠٢
١٠-٢- المواد الأولية (الخامات) ١٠٢

١٠-٣- أنواع الدهانات ١٠٤
١٠-٤- خواص الدهانات ١٠٧
١٠-٥- عوازل الماء والرطوبة ١٠٨
١٠-٥-١- أنواع العزل المائي ١٠٨
١٠-٥-٢- مواد العزل ١٠٩
١٠-٦- العزل الحراري ١١٠
١٠-٦-١- تعاريف هامة في العزل الحراري ١١٠
١٠-٦-٢- أنواع العوازل الحرارية ١١١
١٠-٦-٣- مواد العزل الحراري ١١١
١٠-٦-٤- متطلبات العزل الحراري ١١٤
١٠-٧- أسئلة وتمارين ١١٤

المراجع ١١٥
المحتويات ١١٦